

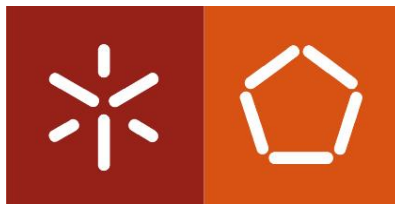
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Cláudia Sofia Bastos Lima dos Santos

**Reabilitação de um edifício de
habitação social, visando a eficiência
energética e a qualidade acústica**

Janeiro de 2018



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Cláudia Sofia Bastos Lima dos Santos

**Reabilitação de um edifício de
habitação social, visando a eficiência
energética e a qualidade acústica**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva

Janeiro de 2018

*“O êxito da vida não se mede pelo caminho
que você conquistou, mas sim pelas
dificuldades que superou no caminho.”*

Abraham Lincoln

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação não seria possível sem o apoio e incentivo de diversas pessoas às quais fico imensamente agradecida.

À professora Sandra Monteiro da Silva quero agradecer pelas orientações e esclarecimento de dúvidas no decorrer da dissertação.

Aos meus pais e irmã pela compreensão, apoio, paciência e incentivo durante o percurso académico, principalmente à minha mãe que foi incansável.

Ao Bruno Neto pelo companheirismo, por todo o estímulo e apoio neste caminho.

À parceira, companheira e amiga Catarina Gonçalves por todos os dias, horas e momentos que passamos juntas no desenvolvimento deste documento assim como no percurso académico.

À Cristina Barroso (Tininha) por todo o incentivo e preocupação e ao BFF, Fabrice Afonso, por toda a parceria em tudo.

Às Marcelas da minha vida, pelo encorajamento e força para acabar este documento.

À minha verdinha Maria Valada por toda a força e amizade.

Às minhas tótinhas da Tun'ao Minho por toda a preocupação e estímulo.

A todas as amigas e amigos que sempre me ajudaram em tudo.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram de alguma forma, levo-os para a vida toda.

RESUMO

O principal motivo para a recuperação do setor da construção nos últimos 6 anos, foi a reabilitação que chegou a atingir 80% dos licenciamentos. Esta foi uma alternativa para as empresas de construção que também evoluíram estrategicamente, tornando a reabilitação, dentro da empresa, como uma área de atividade complementar e estrutural.

Em Portugal, o mercado da reabilitação é muito insuficiente pois não há cultura de preservação do edificado mesmo sendo exigido, pelo Regime Geral das Edificações Urbanas (RGEU), que sejam efetuadas obras de preservação em períodos de 8 anos. Comparativamente à média europeia, Portugal apresenta valores baixos de reabilitação de edifícios, encontrando-se nos últimos lugares em reabilitação de edifícios.

As cidades portuguesas vão apresentando a degradação progressiva das suas estruturas urbanas, dos seus edifícios e dos seus espaços exteriores. Esta situação é devida ao envelhecimento próprio, da sobrecarga de usos ou do desajustamento do planeamento da sua organização a novos modos de vida. É importante que haja desenvolvimento de processos de reabilitação, racionalizando recursos e proporcionando melhor qualidade de vida aos seus utilizadores.

Assim, o estudo de soluções de reabilitação para melhorar o conforto térmico e acústico, foi efetuado para avaliar de que forma estas soluções contribuem para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes. Com a realização da análise económica foi possível compreender a relação custo/benefício da aplicação das várias soluções de reabilitação estudadas.

Através dos resultados obtidos, foi possível tornar o edifício em estudo mais eficiente e mais confortável para os seus ocupantes, reduzindo as suas necessidades energéticas globais, embora tenha ocorrido um ligeiro aumento nas necessidades energéticas de arrefecimento, melhorando o conforto acústico e consequentemente melhorando a qualidade de vida dos ocupantes.

ABSTRACT

The main reason for the construction sector recovery over the past 6 years was the rehabilitation, with 80% of the licenses. This was an alternative for the construction companies that also strategically evolve, making the rehabilitation, a complementary and structural activity area.

In Portugal, the rehabilitation market is inadequate as there is no preservation culture, despite the fact of the *Regime Geral das Edificações Urbanas* (RGEU, Urban Planning and Building Code) demands that maintenance works are made within periods of 8 years. In comparison to the European average, Portugal has lower values of buildings rehabilitation, therefore is at the bottom places.

Portuguese cities present a progressive degradation of their urban structures, of their buildings and outdoor spaces. This is a result of the self-aging and overuse or maladjustment planning to new lifestyles. It is important to develop rehabilitation processes, rationalizing resources and proving the better quality of life for their users.

Therefore, the study of rehabilitation solutions to improve thermal and acoustic comfort was carried out in order to assess how these solutions contribute to an improvement in the inhabitants' quality of life. With the economic analysis, was possible to comprehend the cost/benefit relation when applying the different studied rehabilitation solutions.

Throughout the obtained results, it was shown that the studied building became more efficient and comfortable, reducing its overall energy needs, though with a slight increase of the cooling needs, improving the acoustic comfort and consequently improving the quality of life of its inhabitants.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
CAPÍTULO II.....	5
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. Parque habitacional português.....	5
2.2. Reabilitação em Portugal.....	9
2.3. Reabilitação de habitações sociais.....	14
2.4. Eficiência energética.....	17
2.5. Qualidade acústica.....	24
CAPÍTULO III	29
3. METODOLOGIA.....	29
3.1. Programas de simulação térmica e acústica	29
3.2. Análise Económica.....	36
3.3. Caso de estudo.....	37
CAPÍTULO IV.....	45
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	45
4.1. Inquéritos	45
4.2. Desempenho energético.....	45
4.3. Desempenho acústico	49
4.4. Análise económica.....	54
CAPÍTULO V	57
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	57
5.1. Conclusões.....	57

5.2. Trabalhos Futuros	59
BIBLIOGRAFIA.....	61
ANEXOS	65
ANEXO I – INQUÉRITOS	66
ANEXO II – LEI DA MASSA	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Produtividade dos segmentos do sector da construção	1
Figura 2 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação, 2011	2
Figura 3 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício.....	5
Figura 4 - Número de edifícios clássicos construídos até 1970 segundo a época de construção do edifício.....	6
Figura 5 - Número de edifícios clássicos construídos até 1970, segundo a época de construção do edifício.....	6
Figura 6 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal.	7
Figura 7 - Evolução dos fogos licenciados e fogos concluídos entre 2001 e 2011	8
Figura 8 - Distribuição da população por tipo de alojamento	8
Figura 9 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia	9
Figura 10 - Tipos de obras de reabilitação	10
Figura 11 - Estratégias para a construção sustentável	10
Figura 12 - Proporção de edifícios concluídos por tipo de obra.....	11
Figura 13 - Número de alojamentos concluídos em obras de reabilitação, por tipo de obra ...	11
Figura 14 - Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas por NUTS II	12
Figura 15 - Peso das obras de alteração, de ampliação e reconstrução no total de obras de reabilitação por NUTS II.....	12
Figura 16 - Distribuição dos fogos de habitação social por destino dos fogos	14
Figura 17 - Distribuição dos edifícios de habitação social segundo o número de alojamentos por NUTS II.....	15
Figura 18 - Distribuição dos fogos de habitação social por tipologia	15
Figura 19 – Certificados energéticos emitidos por classe energética, para edifícios de habitação, requisitos	18
Figura 20 - Edifício com ineficiência energética e edifício com eficiência energética.....	20

Figura 21 - Contributo dos elementos construtivos, na estação de aquecimento e arrefecimento, e onde ocorre as perdas e ganhos de calor	20
Figura 22 - Tipos materiais de isolamento térmico.....	22
Figura 23 - Diferença entre som e ruído	25
Figura 24 - Tipos de propagação do som e fontes de ruído.	26
Figura 25 - Materiais e absorventes sonoros.....	27
Figura 26 - Bases de dados de componentes e modelos, respetivamente, do Design Builder. 30	
Figura 27 - Hierarquia de dados do Design Builder	30
Figura 28 - Visualização 3D do edifício em estudo no Design Builder	31
Figura 29 - Janela de seleção da atividade, como por exemplo uma zona destinada a cozinha	32
Figura 30 - Janela de caracterização da solução construtiva, por exemplo para uma parede exterior.....	33
Figura 31 - Exemplo da forma de apresentação dos resultados do Design Builder, em gráfico e tabela.....	34
Figura 32 - Exemplo de simulação do Acoubat Sound com geometria e valores do índice de isolamento sonoro.....	35
Figura 33 - Planta tipo do edifício de estudo	37
Figura 34 - Pormenor da cobertura do edifício	38
Figura 35 - Pormenor das paredes exteriores do edifício.....	38
Figura 36 – Pormenor das paredes divisórias e parede de separação entre frações e caixa de escada e zona comum	38
Figura 37 - Pormenor do pavimento superior	39
Figura 38 - Necessidades de aquecimento anuais para cada solução	47
Figura 39 - Necessidades de arrefecimento anuais para cada solução.....	48
Figura 40 - Desempenho energético para cada solução de reabilitação (em percentagem)	49
Figura 41 - Esquema do quarto da fração direita com a caixa de escadas	50
Figura 42 – Esquema da cozinha da fração direita e quarto da fração esquerda	51
Figura 43 - Esquema do quarto da fração esquerda com a caixa de escadas	53
Figura 44 - Número de habitações que já sofreram reparações	67
Figura 45 - Ano em que o habitante reside na fração	67
Figura 46 - Época em que se efetuou reparações.....	67
Figura 47 - Tipos de reparações efetuadas.....	67

Figura 48 - Zonas das anomalias	68
Figura 49 - Tipos de anomalias	68
Figura 50 - Verificação de melhoria.....	68
Figura 51 - Anomalias no presente.....	68
Figura 52 - Tipos de reparações no presente	69
Figura 53 - Necessidade por parte do habitante para restauro.....	69
Figura 54 - Modos próprios de vibração transversal por flexão com influência no isolamento acústico.....	74
Figura 55 - Perda de isolamento sonoro por efeito de coincidência.....	75
Figura 56 - Modelo de um sistema com dois panos e caixa de ar	76
Figura 57 - Frequências de ressonância numa caixa-de-ar.....	78
Figura 58 - Marcação do índice de redução sonora dado pela lei experimental da massa.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Número de proporção de edifícios e fogos de habitação social sujeito a obras de conservação e reabilitação, por NUTS II	16
Tabela 2 - Receitas e despesas com o parque de habitação social por NUTS II	16
Tabela 3 - Número e proporção de edifícios e fogos de habitação social objeto de obras de conservação e reabilitação por NUTS II	17
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior	22
Tabela 5 - Requisitos acústicos para edifícios destinados a habitação	28
Tabela 6 - Áreas dos elementos a serem reabilitados	36
Tabela 7 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a situação atual do edifício, por fração	40
Tabela 8 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre o quarto da fração direita e a caixa de escadas, para a situação atual do edifício	40
Tabela 9 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre a cozinha da fração direita e quarto da fração esquerda, para a situação atual do edifício	41
Tabela 10 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre o quarto da fração esquerda e a caixa de escadas, para a situação atual do edifício	41
Tabela 11 – Características dos elementos construtivos para cada solução de reabilitação estudada	43
Tabela 12 - Necessidades de aquecimento para a situação atual e para cada solução de reabilitação, por fração do edifício	46
Tabela 13 - Necessidades de arrefecimento para a situação atual e para cada solução de reabilitação, por fração do edifício	47
Tabela 14 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A1) ...	50
Tabela 15 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A1)	51
Tabela 16 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A2) ...	52

Tabela 17 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A2)	52
Tabela 18 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A3)...	53
Tabela 19 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A3)	54
Tabela 20 - Custo de implementação das soluções de reabilitação no edifício de habitação social	55
Tabela 21 - Custo do consumo energético com horizonte temporal de 30 anos.....	55
Tabela 22 - Retorno do investimento.....	56
Tabela 23 - Lei experimental da massa, com valores obtidos segundo Meisser	71
Tabela 24 - Valores a considerar na curva para paredes com massa de 100 kg/m^2	72
Tabela 25 - Valores de acréscimo do isolamento devido à existência de caixas de ar (Dif) ...	73
Tabela 26 - Frequências críticas e quebra de isolamento por efeito de coincidência de diversos materiais para paredes de 1 cm de espessura.....	76

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Atualmente o mercado de construção está estagnado e o mercado de reabilitação está em crescimento (Figura 1) (EUROCONSTRUCT, 2013). A reabilitação de edifícios é entendida como a realização de intervenções de modo a proporcionar um desempenho compatível com as exigências e condicionalismos atuais dos edifícios. Segundo os dados dos censos de 2011, cerca de 71% do parque edificado nacional não apresenta necessidades de reabilitação (INE, 2011), contudo estes podem não apresentar condições de conforto razoáveis, seja em termos de conforto térmico ou acústico, e consumos energéticos elevados quando climatizados (Figura 2). Em algumas situações o facto de não necessitar de reabilitação apenas significa que visualmente os edifícios não se apresentam degradados. No presente, existe uma elevada exigência dos ocupantes para solucionar as carências de conforto térmico e acústico que podem pôr em risco a sua saúde. Na generalidade, os ocupantes do parque edificado português apontam a ausência de isolamento térmico e acústico, as elevadas perdas de calor através da envolvente e também os baixos níveis de conforto térmico e acústico como as principais deficiências dos edifícios residenciais (EUROCONSTRUCT, 2013).

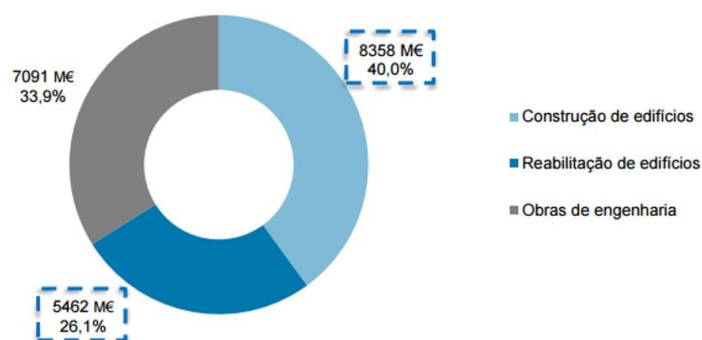


Figura 1 - Produtividade dos segmentos do sector da construção (EUROCONSTRUCT, 2013)

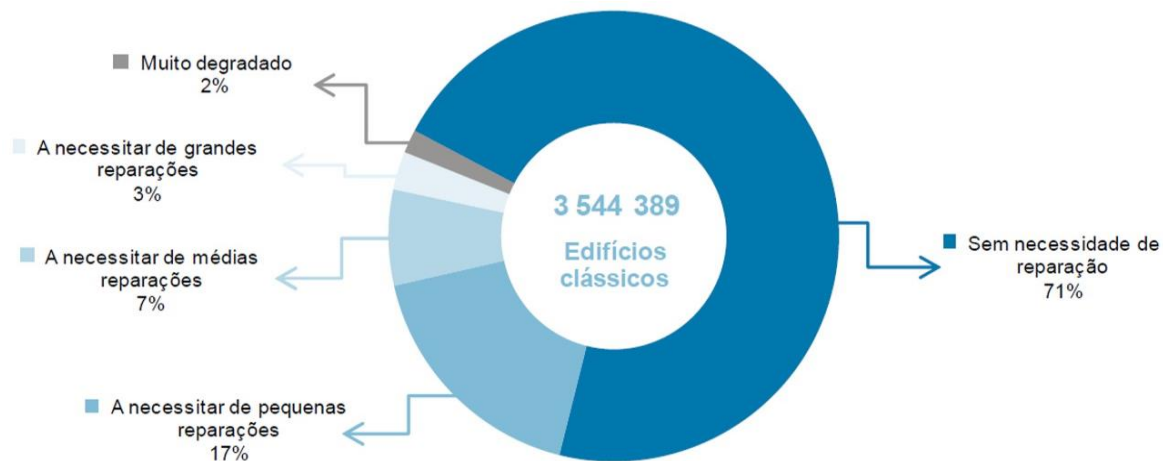


Figura 2 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação, 2011 (INE, 2011)

1.2. Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é efetuar um levantamento, no mercado da construção, de soluções de reabilitação adequadas a fim de garantir condições de conforto razoáveis, tanto a nível térmico como a nível acústico para o edifício habitacional em estudo. Pretende-se avaliar variadas soluções com o objetivo de avaliar propostas de reabilitação viáveis, contribuindo para a melhoria do conforto dos ocupantes, e redução dos consumos energéticos e de baixo impacto económico.

O caso de estudo trata-se de uma habitação social, sendo esta tipologia de habitação, geralmente, associada a baixos níveis de conforto. Então, foi selecionado um edifício multifamiliar, pertencente ao bairro social das Enguardas em Braga, construído na década de 70 do século XX, para ser alvo de estudo desta dissertação. Com este estudo pretende-se dar a conhecer, o comportamento do edifício perante cada solução de reabilitação, a fim de, se porventura existir a possibilidade de se efetuar uma intervenção, apoiar as decisões dos projetistas. Pretende-se estudar o desempenho acústico e energético do mesmo antes e após a implementação das soluções de reabilitação propostas. Esta avaliação será efetuada com recurso aos programas de simulação, nomeadamente o Acoubat Sound e Design Builder. Sendo previstos os índices de isolamento sonoro a sons de percussão e a sons de condução aérea, assim como as necessidades energéticas para arrefecimento e aquecimento. Depois da análise do desempenho do edifício, será efetuada a análise económica das propostas de reabilitação, para que se possa saber qual a relação custo/benefício das medidas de intervenção propostas para o edifício. Será nesta análise que se realizará a estimativa da poupança energética e o custo do

investimento associado, a fim de se avaliar se é compensatório realizar a reabilitação, atendendo ao período de retorno do investimento.

1.3. Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos e dois anexos. Apresenta-se de seguida o resumo de cada um dos capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se o enquadramento da dissertação, os objetivos da mesma e a sua organização e estrutura.

No capítulo 2 apresenta-se o estado da arte que engloba o parque habitacional português e sua evolução e a evolução da reabilitação em Portugal. A reabilitação de habitações sociais também é uma das secções presentes neste capítulo, assim como as grandes áreas a serem analisadas como a eficiência energética e a qualidade acústica dos edifícios.

O capítulo 3 retrata qual a metodologia adotada para o estudo a efetuado e a descrição dos programas informáticos a serem utilizados para o estudo do desempenho energético e da qualidade acústica. É nesta seção que é apresentado a caracterização do edifício estudado.

No capítulo quatro são apresentados os resultados e a análise dos resultados. Os resultados apresentados neste capítulo são provenientes da análise de cada solução para a eficiência energética, conforto acústico e também o estudo económico. Este estudo económico divide-se ainda no custo de investimento, no custo associado aos consumos energéticos e também no período de retorno do investimento.

Este último capítulo, capítulo cinco, encontram-se as conclusões gerais de todo o estudo e adicionalmente também é apresentado nesta secção as propostas para trabalhos futuros.

2.1. Parque habitacional português

Durante as últimas décadas, o parque habitacional português teve um acréscimo elevado do número de edifícios, fazendo com que, em 2011, uma parcela relevante dos edifícios existentes fosse relativamente recente. Edifícios construídos depois de 1971 representavam 63,1% do total de edifícios existentes em 2011, tendo sido construídos de forma uniforme em cada década. Já os edifícios construídos entre 1946 e 1971 representavam 22,5%, e os edifícios anteriores a 1946 representavam 14,4% do parque habitacional português como se pode verificar pela Figura 3.

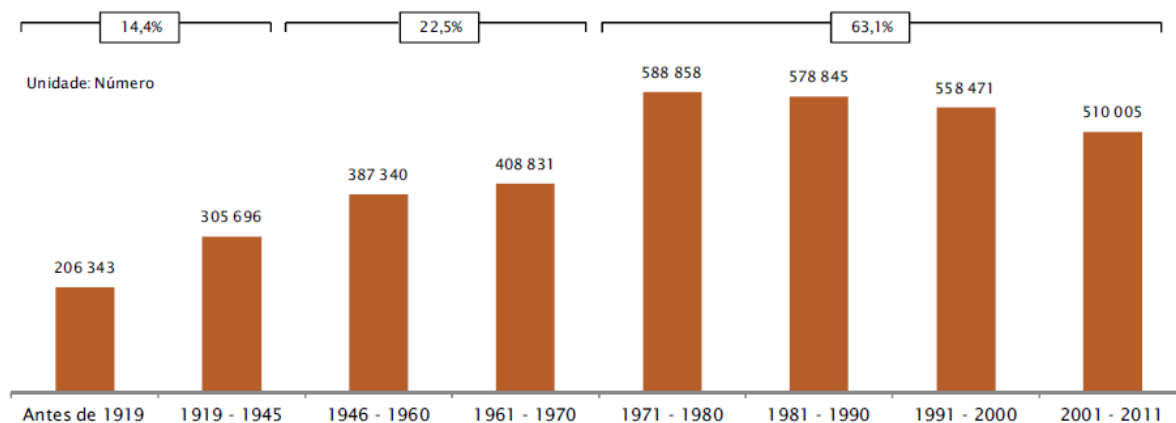


Figura 3 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício (INE, 2011)

Entre 2001 e 2011, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), constatou-se uma diminuição de 3,2% dos edifícios construídos até à década de 70, tendo sido inferior à averiguada nas duas décadas antecessoras, sendo a diminuição de 11,1% e de 19,4% entre 1981 e 1991 e entre 1991 e 2001 respetivamente (Figura 4).

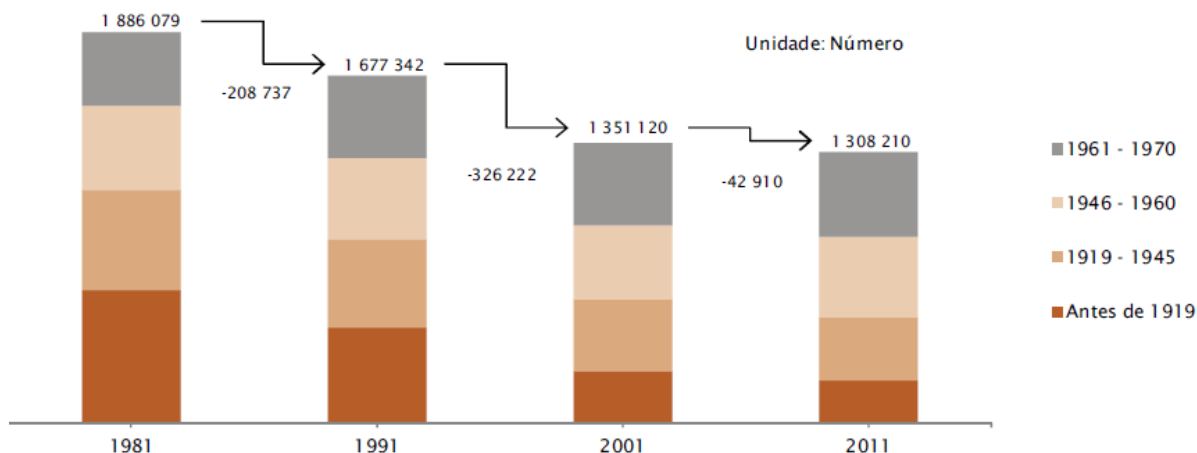


Figura 4 - Número de edifícios clássicos construídos até 1970 segundo a época de construção do edifício (INE, 2011)

Constata-se uma redução bastante significativa do número de edifícios anteriores a 1946, que pode ter sido devido a demolições, reclassificação da época de construção do edifício consequente da realização de obras de reconstrução ou devido à alteração para uso não habitacional. Esta redução é de 67,9% para edifícios construídos até 1919 e de 36,7% para edifícios construídos entre 1919 e 1945, tal como mostra a Figura 5.

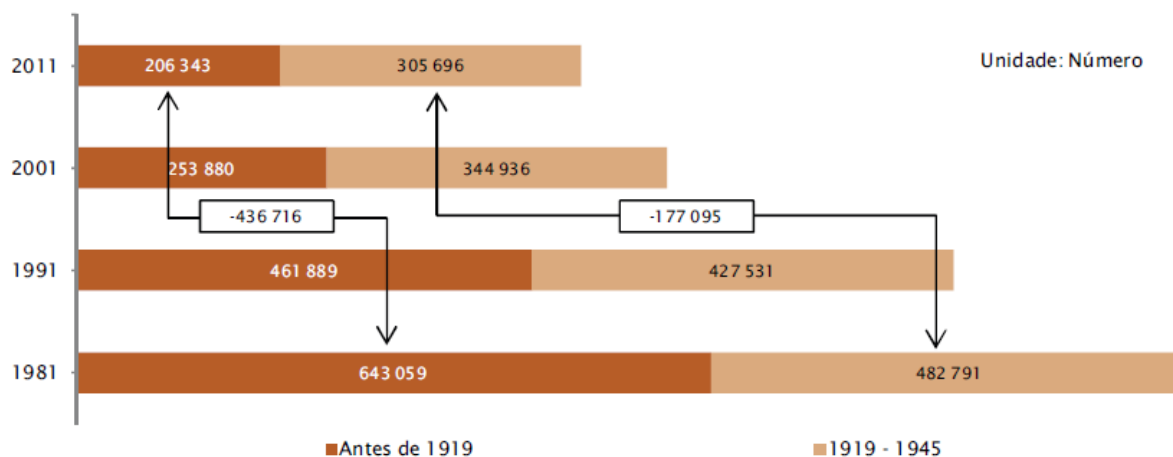


Figura 5 - Número de edifícios clássicos construídos até 1970, segundo a época de construção do edifício (INE, 2011)

Em 2011, o número de habitações acresce 45% comparativamente ao número de famílias, ou seja, mais de 1,8 milhões de habitações do que famílias. No entanto, cerca de 32% dos alojamentos eram residências secundárias ou estavam desabitados sendo que, aproximadamente metade deste último, que estavam para venda, tinham sido construídos na última década. No

recenseamento de 1981 a situação estava mais ou menos equilibrada sendo o número de alojamentos 16% superior ao número de famílias (Figura 6).

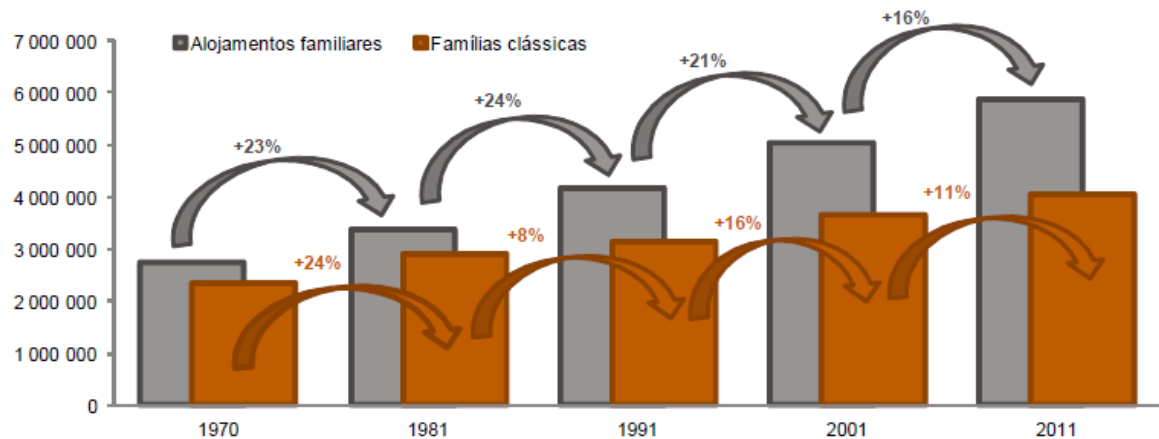


Figura 6 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal. (INE, 2011)

O mercado imobiliário teve uma grande expansão nas últimas décadas e por isso o parque habitacional português caracterizou-se particularmente por um ritmo construtivo elevado, ainda que com muito menor intensidade entre 2001 e 2011. Em 2001 a construção de novas habitações atingiu o topo, nomeadamente as obras concluídas, face à elevada procura de habitações novas. Estes novos alojamentos representavam 97,5% do total de fogos licenciados, atingindo assim o número mais elevado entre 2001 e 2011. Esta percentagem foi diminuindo, uniformemente, atingindo 17464 fogos que representava 72% do total de fogos licenciados, entre 2001 e 2011. Relativamente às obras concluídas a evolução é idêntica pois foram concluídos somente 31381 fogos em construções novas em 2011, o qual representa 80 % da totalidade de fogos ultimados. Na última década ocorreu uma quebra significativa em todo o tipo de construção, contudo mais predominantemente na construção de edifícios de habitação comparativamente às décadas antecedentes (Figura 7).

Mais recentemente, nomeadamente no ano 2016, a quantidade de edifícios licenciados em Portugal aumentou 10,9% relativamente a 2015, modificando assim uma propensão em decrescer dos últimos anos. Quanto à reabilitação de edifícios, seja alteração ou ampliação ou reconstrução de edifícios, apresentaram um decréscimo de 0,8% comparativamente a 2015 (28,4%). Relativamente a obras de demolição, ocorreu um acréscimo de 0,3% face ao ano anterior que era de 7,8% (INE, 2016).

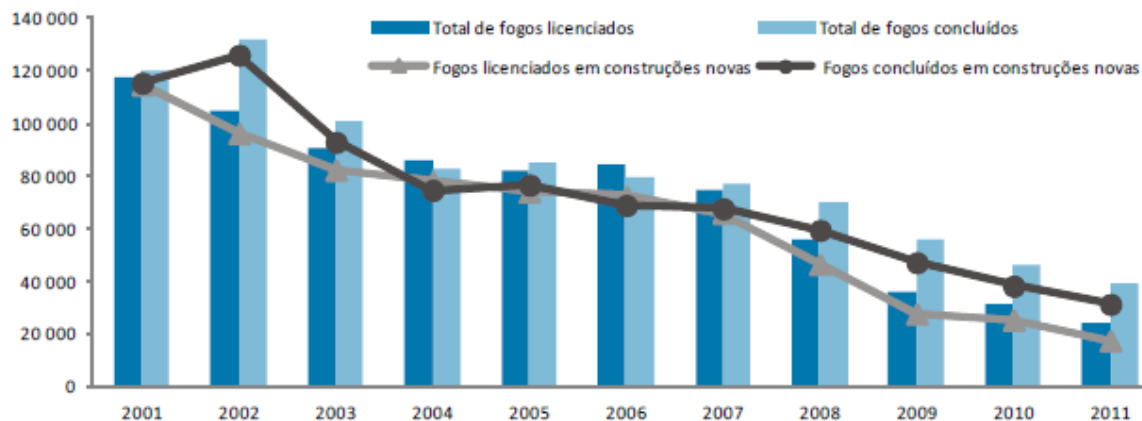


Figura 7 - Evolução dos fogos licenciados e fogos concluídos entre 2001 e 2011. (INE, 2011)

Relativamente à população em 2015 na União Europeia, UE, cerca de 42% vivia em apartamentos, sensivelmente um quarto em habitações geminadas e aproximadamente um terço em habitações unifamiliares. As percentagens mais elevadas de residentes em apartamentos pertencem a Espanha (65,9%), à Letónia (65%) e à Estónia (62,6%). Quanto às habitações geminadas, as maiores percentagens cabem aos Países Baixos, Reino Unido e Irlanda (59,9% para os 2 primeiros e 51,6% para o último), já a Croácia (73,4%), a Sérvia (66,1%) e a Eslovénia (65,1%) são os países em que a maioria da população reside em habitações unifamiliares (Figura 8) (INE, 2015).

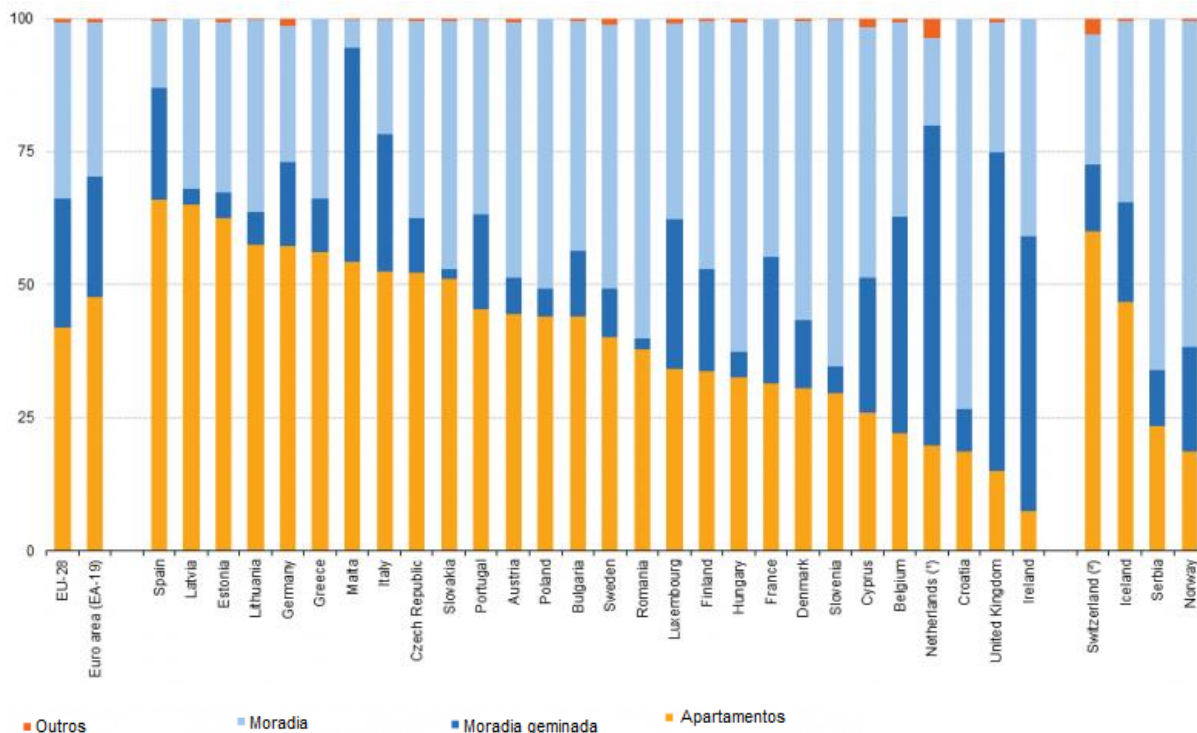


Figura 8 - Distribuição da população por tipo de alojamento (Eurostat, 2015)

2.2. Reabilitação em Portugal

A deterioração urbana é um problema que afeta toda a sociedade, particularmente os habitantes dos edifícios degradados. Este aspeto é um enorme impedimento à vida saudável das cidades e ao seu desenvolvimento económico, afetando negativamente o turismo. Um dos objetivos a atingir com audácia, é proporcionar a recuperação ou a preservação dos centros históricos e a conservação e reabilitação dos edifícios do que construir de novo.

Em Portugal, o mercado da reabilitação é muito insuficiente pois não há cultura de preservação do edificado mesmo sendo exigido, pelo Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE), que sejam efetuadas obras de preservação em períodos de 8 anos. Comparativamente à média europeia, Portugal apresenta valores inferiores de reabilitação de edifícios, encontrando-se assim nos últimos lugares como se pode ver na Figura 9.

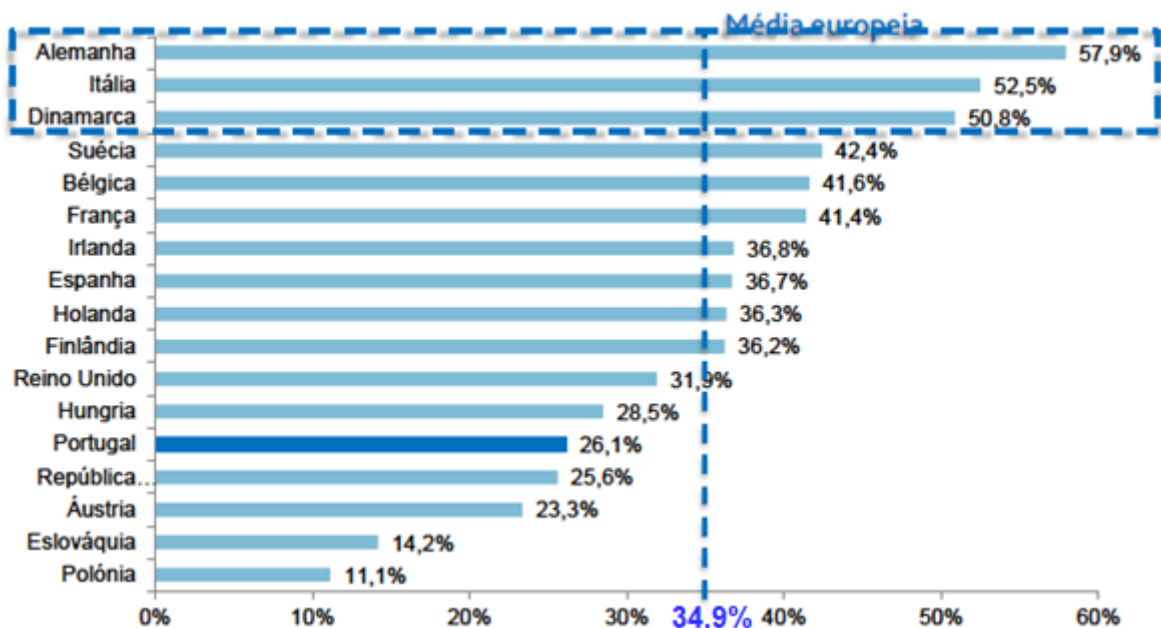


Figura 9 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia (EUROCONSTRUCT, 2011)

As cidades portuguesas vão apresentando a degradação progressiva das suas estruturas urbanas, dos seus edifícios e dos seus espaços exteriores. Esta situação é devido ao envelhecimento próprio, da sobrecarga de usos ou do desajustamento do planeamento da sua organização a novos modos de vida. É importante que haja desenvolvimento de processos de reabilitação, racionalizando recursos e proporcionando melhor qualidade de vida aos seus utilizadores (ADENE, 2011).

Reabilitação de edifícios “é a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais” (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) (Câmara Municipal de Lisboa)



Figura 10 - Tipos de obras de reabilitação

A reabilitação corrige situações de inadequação funcional, oferecendo melhores condições de conforto aos seus ocupantes, proporcionando melhorias ao nível da eficiência energética, reduzindo a necessidade de aquecer, arrefecer ou ventilar a habitação. Também permite corrigir os problemas acústicos existentes, e, adicionalmente em muitas situações também colmata certas patologias ligadas à presença de humidade e à deterioração do aspeto nos edifícios (ADENE, LNEC, INETI e IPQ, 2004). Na Figura 11 são apresentadas as estratégias para a construção sustentável.

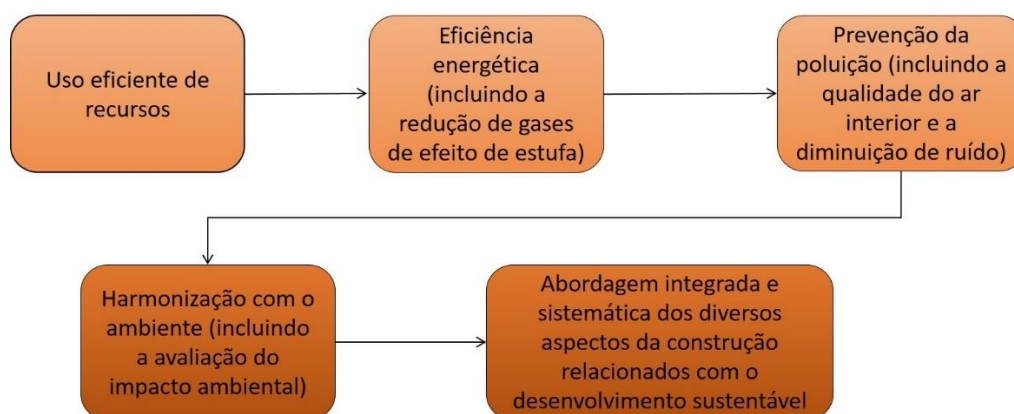


Figura 11 - Estratégias para a construção sustentável (OCDE)

Entre 2011 e 2016, houve uma diminuição do número das construções novas, em que dos 74,4% de 2011 desceu 8,4% em 2014, atingindo assim o seu valor relativo mais baixo. Já em 2016 foi registado um acréscimo de 2,6% das construções novas relativamente ao ano de 2014. Quanto às obras de reabilitação verifica-se um crescimento contínuo como mostra a Figura 12 (INE, 2011-2016).

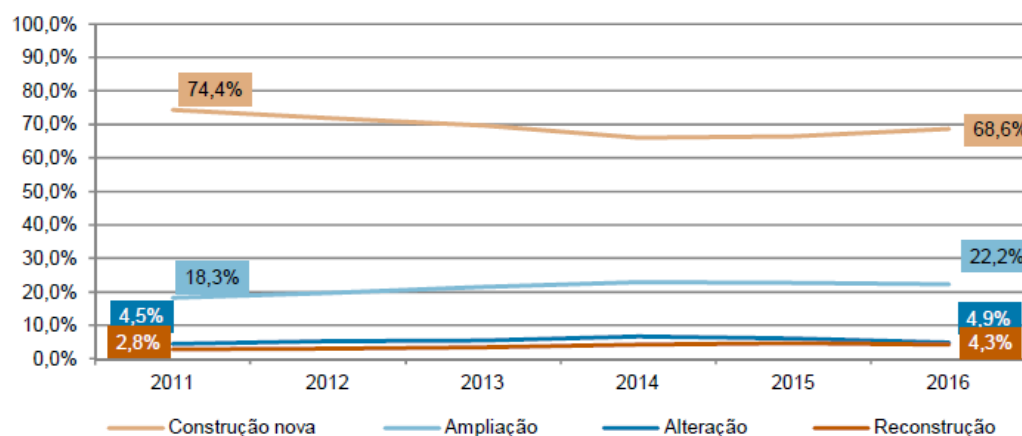


Figura 12 - Proporção de edifícios concluídos por tipo de obra (INE, 2011-2016)

É em intervenções de ampliações de alojamentos existentes que a reabilitação tem tido maior relevância (Figura 13).

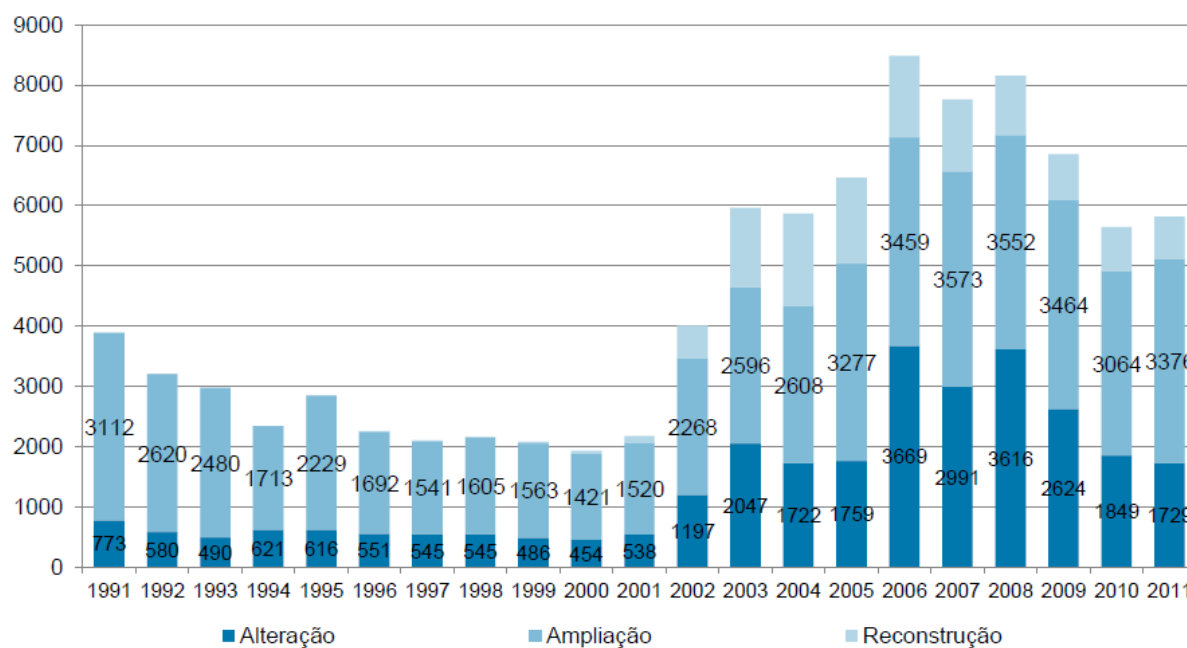


Figura 13 - Número de alojamentos concluídos em obras de reabilitação, por tipo de obra (INE, 1991-2011)

Foi em 2016 que as obras de reabilitação apresentaram uma maior expressão na região do Algarve, sendo de 43,9% (-2,4% face a 2011) do total de obras concluídas, tendo em conta o número de edifícios. Foi igualmente nesta zona que as obras de reconstrução assinalaram o maior acréscimo relativamente a 2011, sendo esse acréscimo de 12,8%, com a correspondente minoração do peso de outros tipos de obras, como se pode constatar na Figura 14.

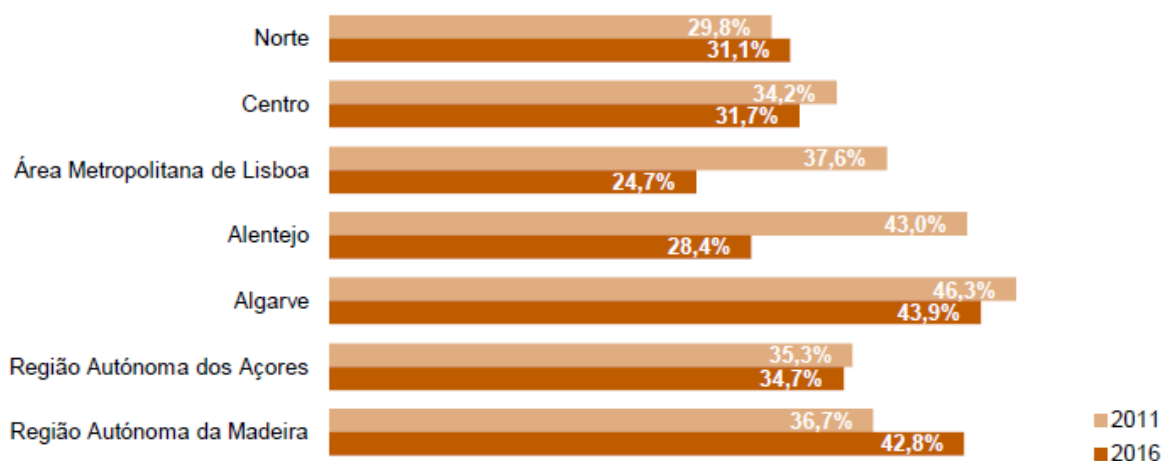


Figura 14 - Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas por NUTS II (INE, 2011-2016)

Segundo o INE, os maiores pesos para cada tipologia em 2016, foram de:

- 18% para obras de reconstrução na zona norte;
- 97,5% para obras de ampliação na região autónoma da Madeira;
- 25% para obras de alteração em Lisboa.

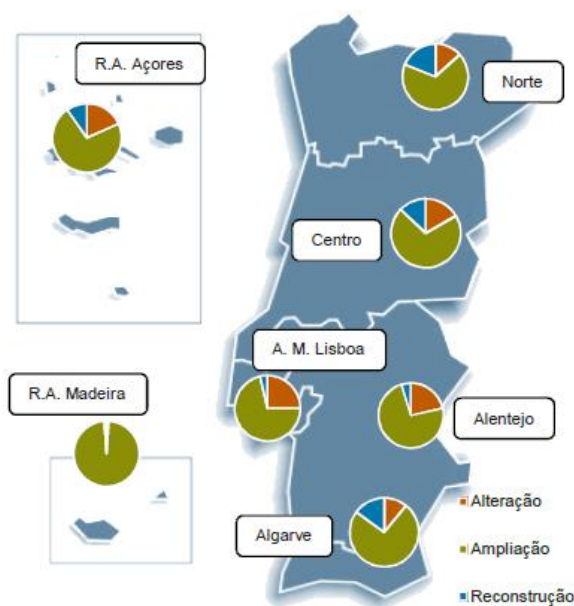


Figura 15 - Peso das obras de alteração, de ampliação e reconstrução no total de obras de reabilitação por NUTS II (INE, 2016)

Após a reabilitação ter diminuído, volta a crescer pela primeira vez desde 2011, graças ao turismo e ao investimento privado (ADENE, 2016). Segundo empresários do setor, mais do que uma moda ou uma tendência passageira, a reabilitação é hoje uma dinâmica que está instituída em pleno mercado e irá manter-se durante cerca de 3 anos pelo menos (INE, 2016). Conforme estudo da consultora Prime Yield Portugal, só nos últimos cinco anos, o investimento privado em reabilitação em Lisboa alcançou os 600 milhões de euros.

Na zona norte, mais propriamente na cidade do Porto, registou-se uma fração de investimento privado em reabilitação acima dos 1100 milhões de euros entre 2005 e 2015 (INE, 2005-2015).

No último trimestre de 2016 houve um acréscimo de 12,1% no licenciamento para reabilitação (INE, 2017). Em fevereiro de 2017, o índice de produção na área da construção acresceu 2% face ao período homólogo e 1,2% em relação ao mês de janeiro (3%) do mesmo ano. Este crescimento, em dois meses consecutivos, já não se registava há onze anos e teve como base a construção de edifícios que teve um aumento de 4,3%.

O principal motivo para a recuperação do setor da construção nos últimos 6 anos, foi a reabilitação que chegou a atingir 80% dos licenciamentos. Esta foi uma alternativa para as empresas de construção que também evoluíram estrategicamente, tornando a reabilitação, dentro da empresa, como uma área de atividade complementar e estrutural, como é o caso do Grupo Casais, com mais de cinco décadas no setor da construção civil (Prime Yield Portugal, 2017).

De acordo com o estudo “Lisbon Residential Brick Index”, realizado pela consultora imobiliária CBRE em 2017, estão em construção mais de 180 edifícios, maioritariamente projetos de reabilitação, em que cerca de 100 foram concluídos no final do ano 2017 o que regista um aumento de 89% face a 2016. De acordo com Euroconstruct (2017), a renovação/reabilitação irá evoluir a um compasso de 6,5% ao ano transformando-se assim no futuro da construção em Portugal, já a Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (FEPICOP, 2017) prevê que este elemento integrante da construção suba 9,7% este ano (2018), enquanto a construção nova se manterá mais moderada prevendo-se um desenvolvimento de 5,2%. O abrandamento do ritmo de desenvolvimento nesta tipologia de obras poderá ser devido à finalização de muitos trabalhos realizados aquando das eleições

autárquicas, no entanto poderá vir ser compensatório o já anunciado “reforço do investimento público”.

2.3. Reabilitação de habitações sociais

Em 2012 existiam cerca de 118 mil fogos de habitação social distribuídos por 24,5 mil edifícios, sendo que 53,9% dos edifícios possuía dois ou mais alojamentos atingindo um rácio de 4,8 fogos por edifício, situados em 268 municípios. Estes fogos pertenciam ao município e a outra entidades proprietárias e gestoras de habitação social. Comparativamente a 2011, houve um decréscimo, não muito significativo (0,2%). Uma grande maioria dos fogos, estavam habitados em regime de arrendamento e apenas 4,1% se encontravam livres (Figura 16) (INE,2012).

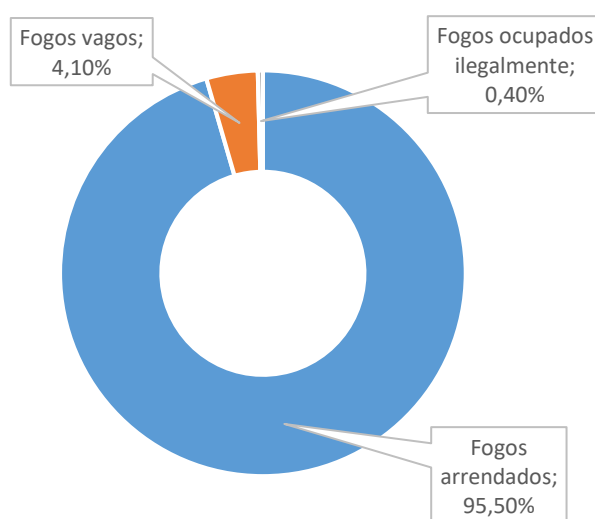


Figura 16 - Distribuição dos fogos de habitação social por destino dos fogos (INE, 2012)

A cidade de Lisboa foi a região que mais registou pedidos de habitação em 2012. O arquipélago da Madeira diferenciou-se com o maior rácio, sendo de 4,2% o número de fogos de habitação social, já no continente a habitação social correspondia a 2% (1125 fogos/100 mil habitantes). Assim neste registo, o parque de habitação social produziu uma receita de, aproximadamente, 81 milhões de euros (menos 4 milhões face a 2011), proveniente da cobrança de arrendamentos (82%) e da venda de fogos. No arquipélago dos Açores predominaram os edifícios com 1 alojamento ao contrário de Lisboa que foram os edifícios de dois ou mais alojamentos que prevaleceram (Figura 17) (INE, 2012).

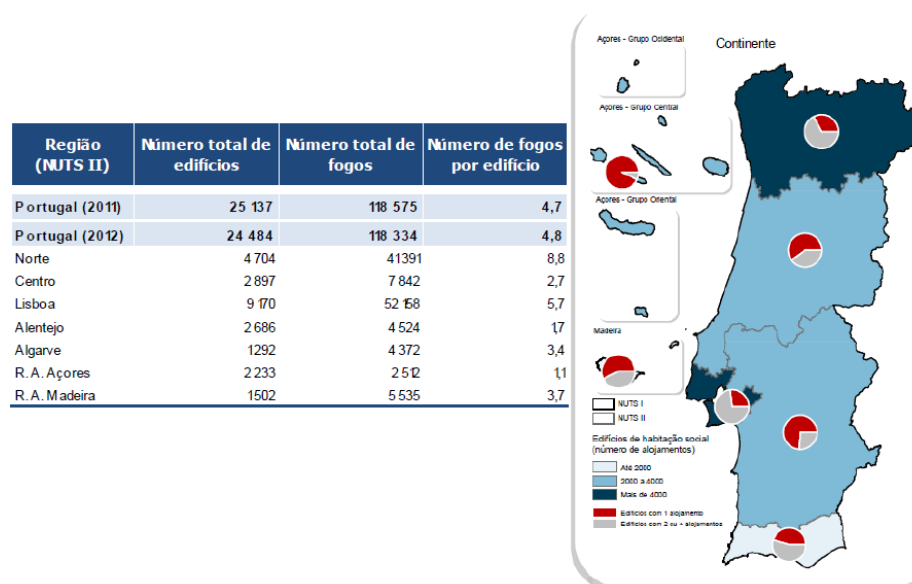


Figura 17 - Distribuição dos edifícios de habitação social segundo o número de alojamentos por NUTS II (INE, 2012)

Como mostra a Figura 18, as tipologias predominantes são T2 e T3 representando 78,6%, seguido das tipologias T0 e T1 com 11,3% e os restantes 10,1% representam a tipologia T4 ou superior.

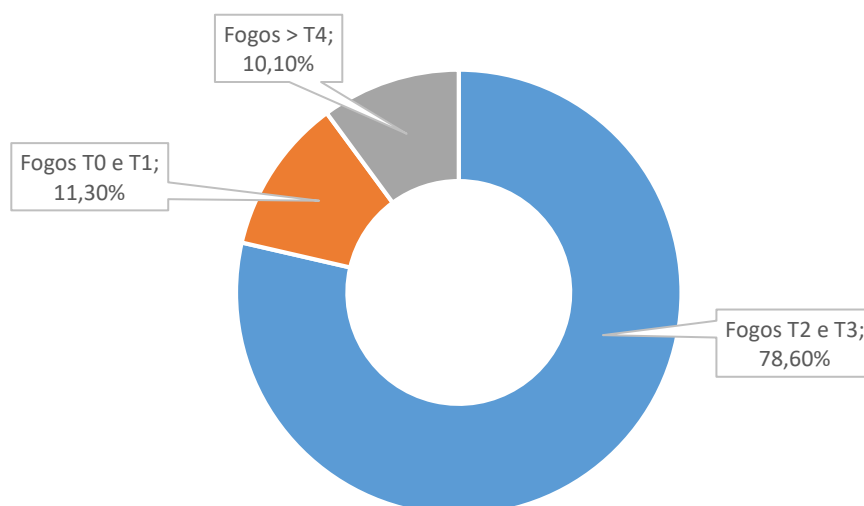


Figura 18 - Distribuição dos fogos de habitação social por tipologia (INE, 2012)

De acordo com o Inquérito à Caracterização da Habitação Social (Tabela 1), foi a ilha da Madeira que teve maior proporção de edifícios sujeitos a obras de conservação referentes à quantidade

de edifícios de habitação social presentes neste arquipélago. Relativamente aos fogos que foram reabilitados já é a zona nortenha que teve maior percentagem (INE, 2011 e 2012).

Tabela 1 - Número de proporção de edifícios e fogos de habitação social sujeito a obras de conservação e reabilitação, por NUTS II (INE, 2011 E 2012)

Região (NUTS II)	Edifícios que sofreram obras de conservação		Edifícios que sofreram obras de reabilitação	
	Nº	%	Nº	%
Portugal (2011)	3000	11,9%	9073	7,7%
Portugal (2012)	2158	0,1%	5247	4,4%
Norte	376	8,0%	2947	7,1%
Centro	361	12,5%	449	5,7%
Lisboa	470	5,1%	1025	2,0%
Alentejo	245	9,1%	276	6,1%
Algarve	148	11,5%	190	4,3%
R. A. Açores	169	7,6%	104	4,1%
R. A. Madeira	389	25,9%	276	5,0%

Em 2015, as despesas associadas ao parque de habitação social referentes às obras de conservação e reabilitação e aos encargos fixos, somaram cerca de 58 milhões de euros como se pode constatar pela observação da Tabela 2 (INE, 2015).

Tabela 2 - Receitas e despesas com o parque de habitação social por NUTS II (INE, 2015)

Região (NUTS II)	Receita		Despesa efetuada em obras de conservação e/ou reabilitação	Valor dos encargos fixos
	das rendas cobradas	da venda de fogos		
Portugal (2012)	66318	14690	47899	8936
Portugal (2015)	68092	4909	47830	10345
Norte	24155	550	18956	2701
Centro	3199	214	1125	408
Lisboa	31827	3689	20871	4834
Alentejo	2643	387	1051	798
Algarve	2219	68	3534	444
R. A. Açores	713	0	1105	161
R. A. Madeira	3317	0	1189	999

Como se pode verificar na Tabela 3, em 2015 efetuaram-se 9437 reabilitações em fogos de habitação social, representando 7,9% e foram efetuadas 2019 conservações em edifícios representando 7,7%. Na zona do Norte assinalou-se o maior número de edifícios e de fogos reabilitados e esta foi também a região que a percentagem de edifícios sujeitos a obras de conservação (11,2%) foi superior à dos fogos reabilitados (9%) (INE, 2015).

Tabela 3 - Número e proporção de edifícios e fogos de habitação social objeto de obras de conservação e reabilitação por NUTS II (INE, 2015)

Região (NUTS II)	Edifícios que sofreram obras de conservação		Fogos que foram objeto de reabilitação	
	Nº	%	Nº	%
Portugal (2012)	2158	8,8%	5247	4,4%
Portugal (2015)	2019	7,7%	9437	7,9%
Norte	686	11,2%	3789	9,0%
Centro	273	9,3%	824	10,3%
Lisboa	505	5,6%	3031	5,8%
Alentejo	182	6,0%	376	7,3%
Algarve	140	11,0%	807	18,3%
R. A. Açores	162	7,3%	247	9,7%
R. A. Madeira	71	4,3%	363	6,6%

Em 2016, surgiu o Programa de Financiamento a Condomínios, que se destina a obras nas intitulas partes comuns, nomeadamente em coberturas, fachadas, janelas, entre outros (IHRU, 2016). Este financiamento visa incentivar a reabilitação e conservação de edifícios de habitação social, propriedade do IHRU, mas também visa apoiar os moradores residentes neste tipo de habitação com apenas uma taxa fixa de 1%. Conclui-se que se um proprietário que solicite cinco mil euros de empréstimo a doze anos, terá uma prestação mensal de 37 euros, totalizando 5328 euros de investimento na reabilitação (IHRU, 2016).

Em 2017 o IHRU teve acesso pela primeira vez a fundos comunitários para reabilitação de habitação social no âmbito dos programas de reabilitação urbana do Portugal 2020 que surgiram em 2014 e 2015 (IHRU, 2017). Este instituto já desenvolveu 17 projetos, por exemplo já foi aprovada a intervenção no bairro social de Arcozelo em Barcelos, construído em 1973 e no bairro social Amarelo em Almada, construído entre 1980 e 1982.

2.4. Eficiência energética

2.4.1. A eficiência energética em edifícios de habitação

As habitações devem proporcionar condições de conforto aos seus ocupantes, e também tornar os custos de energia reduzidos (ver Figura 19). Cerca de 28% da população portuguesa está numa situação de pobreza energética, que consiste na incapacidade de obter o adequado

conforto térmico, sendo que 10% do rendimento familiar é gasto para manter a habitação aquecida (OMS, 2012).

De acordo com um estudo do mapeamento da pobreza energética em Portugal, realizado em 29 conselhos, Bragança é o conselho do país onde existe mais pobreza energética, e Braga, com uma população mais jovem e com mais rendimento, é o conselho com menor índice de pobreza energética (Projeto ClimAdaPT.local, 2016).

A reabilitação energética dos edifícios é fundamental para melhorar a qualidade de vida, o conforto dos ocupantes dos edifícios e para minimizar os custos com energia das famílias, reduzindo a sua pobreza energética conduzindo também assim a uma redução da dependência energética do país e da emissão de gases de efeito estufa.

Sendo esta uma das metas definidas na EPBD-recast, o objetivo de fornecer um maior conforto térmico poder-se-á substituir os envidraçados, reforçar o isolamento térmico e a diminuir as infiltrações de ar.

Em Portugal cerca de metade dos consumos de energia poderão ser eliminados se forem aplicadas medidas de eficiência energética.

Nos edifícios como a Figura 19 mostra, a classe energética predominante no país em 2016, é a classe D com cerca de 30,95%, sendo as percentagens mais baixas para as classes A e A+.

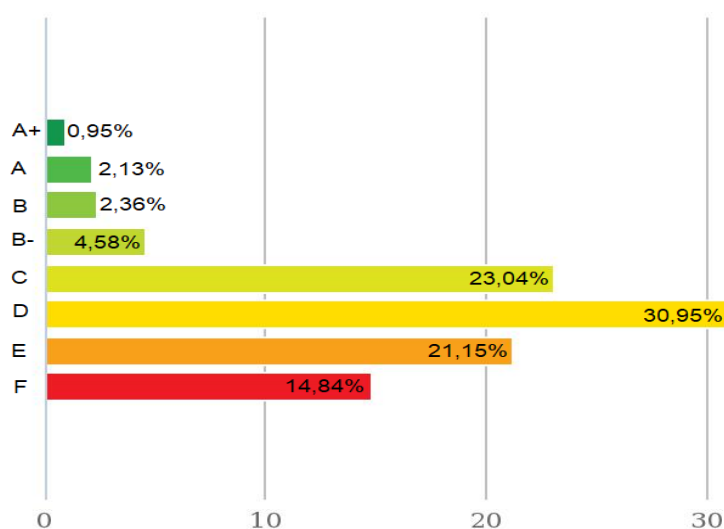


Figura 19 – Certificados energéticos emitidos por classe energética, para edifícios de habitação, requisitos (ADENE, 2016)

É devido ao elevado custo da energia, das intervenções de melhoria e o retorno do mesmo, que faz com que haja uma barreira quanto à reabilitação, quer seja de edifícios habitacionais ou de edifícios de comércio e serviços.

Portugal atingiu o segundo melhor valor da década referente à dependência de energia, ou seja, reduziu a sua dependência do exterior, com uma queda na importação de diversos produtos energéticos e também uma grande aposta nas fontes renováveis, passando de 78,3% em 2015 para 74,8%, em 2016 (DGEG, 2017). O melhor valor registado foi de 73,7% em 2014 e o pior foi de 83,9% em 2007. Esta dependência tem vindo a decrescer nos últimos anos devido às fontes endógenas como por exemplo a energia eólica e a hidroelétrica, mas também por causa do reforço da capacidade em exportar das refinarias da Galp, tendo provocado grande impacto no saldo energético nacional. A redução do uso de carvão para produção de eletricidade, devido à maior produção de energia hidroelétrica em 2016, também foi um fator influenciador. Entretanto o consumo de energia primária sofreu um recuo nos consumos energéticos devido à crise económica (DGEG, 2017). Publicado em junho de 2017, o balanço energético da DGEG apresenta reduções de 1,2% (contabilizando as fontes e recursos usados em bruto para serem transformados noutras formas de energia), refletindo especialmente a queda de 13% no consumo do carvão, porém a energia final que é aquela que agrega os volumes registados pelos consumidores finais (eletricidade, produtos petrolíferos entre outros) subiu 1% (DGEG, 2017). Entre 2008 e 2013, ocorreu uma diminuição consecutiva, contudo em 2014 estabilizou-se, e posteriormente cresceu 1,2% em 2015. Todavia, o consumo de energia primária teve um comportamento idêntico, reduzindo entre 2008 e 2014 e crescendo em 2015 para 5,4% (DGEG, 2017).

É necessário assegurar o conforto térmico e eficiência energética dos edifícios e para isso é preciso reduzir os consumos energéticos e implementar medidas de reabilitação nos edifícios para o bem-estar dos ocupantes e sua saúde. Como se pode ver na Figura 20, um edifício com ineficiência energética tem um gasto mais elevado do que um edifício com eficiência energética. O primeiro edifício, devido à falta de conforto térmico, na estação de inverno o ambiente interior é frio, mas na estação de verão o ambiente interior é quente.



Figura 20 - Edifício com ineficiência energética e edifício com eficiência energética.

Os componentes construtivos contribuem para o consumo de energia e para o conforto dos ocupantes, dependendo da climatização. A Figura 21 apresenta o contributo desses componentes, quer na estação de aquecimento ou arrefecimento, e em que pontos ocorrem as perdas e ganhos de calor.

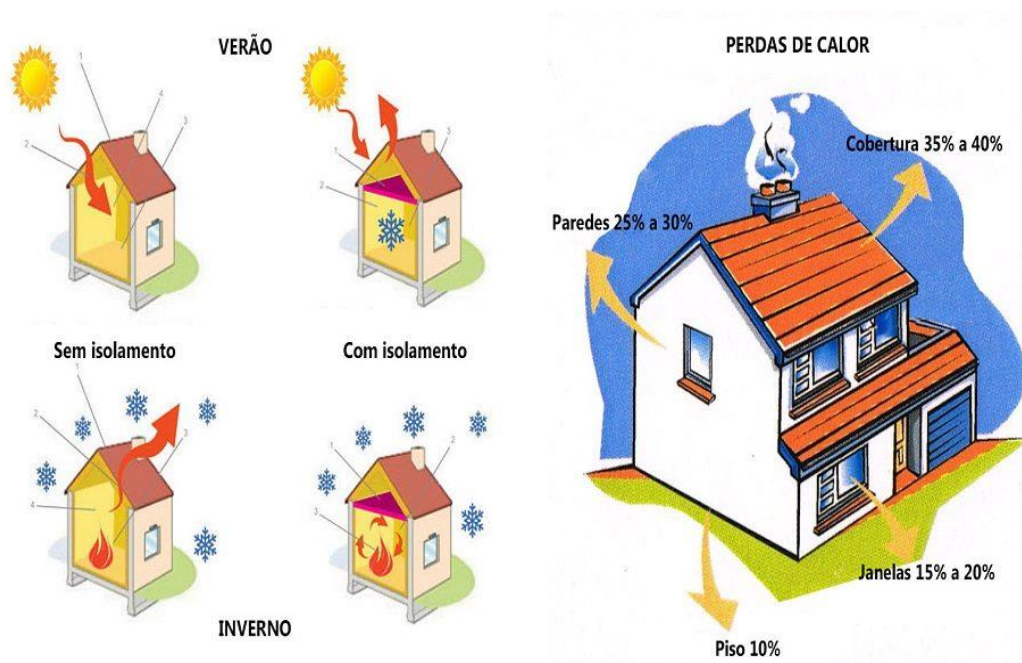


Figura 21 - Contributo dos elementos construtivos, na estação de aquecimento e arrefecimento, e onde ocorre as perdas e ganhos de calor (ADENE, 2016)

A melhoria das condições de conforto pode conduzir ao aumento dos consumos energéticos, no entanto, é a reabilitação energética que geralmente permite melhorar, quer as condições de conforto quer a redução dos consumos energéticos.

O isolamento tem grande impacto na eficiência energética do edifício pois é este que é o fator primordial na redução das trocas de energia entre o interior e o exterior, que faz com que as necessidades de aquecimento e arrefecimento diminuam.

O tipo de isolamento também interfere neste aspeto, pois depende muito da sua condutividade térmica, massa volúmica, espessura e resistência térmica, influenciando assim o seu coeficiente térmico, U , pois quanto menor for sua condutividade térmica e coeficiente térmico, menor será as perdas de calor. A inércia térmica do edifício também é um fator influenciador pois sendo fraca significa que tem uma amplitude térmica alta, contudo se esta for forte, conforme indicado no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), significa que a amplitude térmica é baixa. Se a inércia térmica for elevada os edifícios são mais confortáveis.

Os materiais de isolamento térmico são fracos condutores (condutividade térmica baixa), porém a sua condutividade térmica varia dependendo do tipo de material de isolamento térmico em que este parâmetro é mais elevado em certos materiais isolantes do que noutros, como por exemplo o poliestireno expandido extrudido (XPS) em que o valor da condutividade térmica é de $0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ enquanto que o aglomerado de cortiça já tem um valor mais elevado, sendo de $0,045 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Existem diversos tipos de materiais de isolamento térmico, sendo os mais vulgares os que estão representados na Figura 22 como a cortiça, XPS, poliestireno expandido moldado (EPS) e lã mineral de rocha ou de vidro (ITE 50, 2006).

Quando o isolamento é aplicado pelo exterior (sistema ETICS), proporciona uma maior capacidade de armazenamento tornando assim a inércia térmica do edifício mais forte, garantindo melhores condições térmicas aos ocupantes. Assim, na Tabela 4 é apresentada as vantagens e desvantagens do isolamento térmico pelo exterior em relação ao isolamento térmico pelo interior.

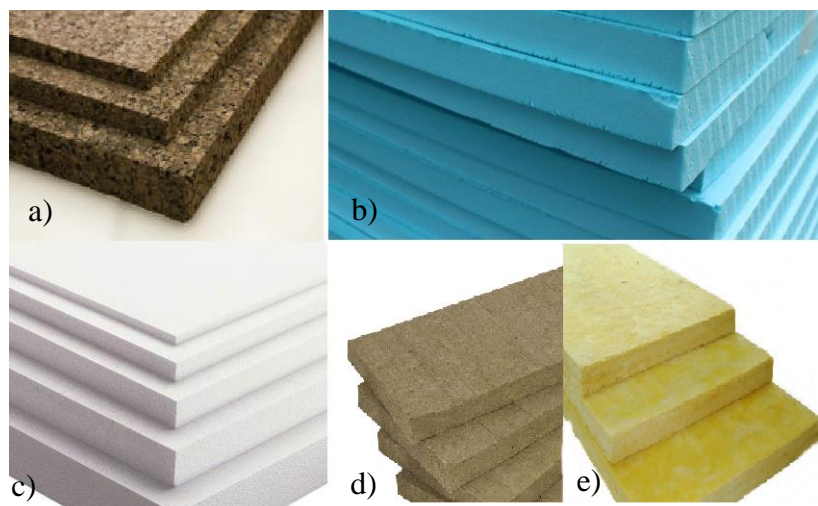


Figura 22 - Tipos materiais de isolamento térmico (ITE 50, 2006). a) Cortiça; b) XPS; c) EPS; d) Lã de rocha; e) Lã de vidro

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior (LNEC, INETI, ADENE e IPQ)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Isolamento térmico mais eficiente; • Ausência de descontinuidade na camada de isolamento; • Conservação da inércia térmica do edifício; • Supressão de pontes térmicas e redução dos riscos de condensação; • Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos; • Manutenção das dimensões dos espaços interiores; • Menores riscos de incêndio e de toxicidade; • Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras; • Proteção das paredes contra agentes atmosféricos; • Eventual melhoria do aspeto exterior dos edifícios 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior vulnerabilidade ao choque; • Condicionamento dos trabalhos pelo estado do tempo; • Risco de fendilhação dos revestimentos quando estes são contínuos; • Constrangimentos de ordem técnica; • Opressões arquitetónicas; • Geralmente tem maior custo.

2.4.2. Regulamentação térmica

A regulamentação que rege atualmente, a eficiência energética dos edifícios de habitação são: o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), tendo sido publicados em Diário da República

em 2013. Ao longo do tempo foi necessário fazer alterações/atualizações aos regulamentos (Almeida, 2015).

1990: Decreto Lei nº 40/90 – Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);



1998: Decreto Lei nº 119/98 – Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE);



2002: Diretiva 2002/91/CE – Diretiva Europeia relativa ao Desempenho Energético de Edifícios (EPBD);



2006: Decreto Lei nº78/2006 – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE);

Decreto Lei nº79/2006 – Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE);

Decreto Lei nº80/2006 – Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);



2010: Diretiva 2010/31/EU – Diretiva Europeia relativa ao Desempenho Energético de Edifícios, revisão (EOBD-recast);



2013: Decreto Lei nº118/2013 - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE);

- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços (RECS);

- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

A regulamentação de 2013 tem como objetivos (Almeida, 2015):

- Informar os consumidores sobre a qualidade térmica da fração;
- Recomendar medidas com viabilidade económica para melhoria do desempenho energético dos edifícios;

- Pressionar os promotores, criando condições de melhoria da qualidade térmica e energética dos edifícios, sejam novos ou reabilitados;
- Promover as reabilitações dos edifícios envelhecidos para melhorar a sua eficiência energética, quer sejam para ser revendidos ou alugados;
- Aumentar a eficiência média do setor dos edifícios, reduzindo a dependência externa da EU, e também contribuir para o cumprimento dos objetivos do protocolo de Quioto.

Com a entrada do DL 118/2013, é obrigatório constar em todos os anúncios de venda ou locação a indicação da classificação energética consoante o Pré-Certificado ou Certificado Energético.

Efetua-se a terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. (DRE)

2.5. Qualidade acústica

2.5.1. Qualidade acústica nos edifícios de habitação

A acústica é a ciência onde se estudar o som, a propagação e receção do som, seja pelo Homem ou por aparelhos de medida (sonómetro). O som faz parte da vida quotidiana, contudo a maioria do som pode ser desagradável, designando-se por ruído. Este som desagradável é um dos grandes fatores que mais causa irritabilidade ou até mesmo esgotamento psíquico e fisiológico ao homem.

O combate contra o ruído é cada vez mais importante no dia-a-dia pois existe cada vez mais preocupação social no que diz respeito à qualidade do ambiente interior. Com o aumento do número de fontes produtoras de ruído, maior serão as consequências para o homem, principalmente ao nível da saúde, por isso tem-se desenvolvido ações de avaliação e correção das fontes produtoras de ruído. Obviamente que a avaliação do som é subjetiva, dependendo de cada indivíduo, pois há músicas que para alguns indivíduos é agradável e para outros é somente ruído (Figura 23) (Souza et al, 2013).

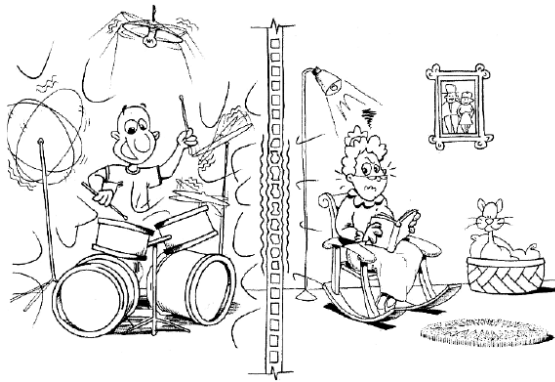


Figura 23 - Diferença entre som e ruído (Souza et al, 2013)

A propagação do som divide-se entre a propagação dos sons em meio fluido denominados de sons aéreos e a propagação dos sons em meio sólido intitulados por sons de percussão. Os sons de condução aérea resultam da excitação direta do ar, como por exemplo a conversação, a música e ruídos de tráfego. Já os sons de percussão derivam da excitação de um meio sólido como paredes e pavimentos pois resultam de uma ação de impacto, como por exemplo a ação de andar, o martelar e o arrastar de móveis. A Figura 24 apresenta exemplos da propagação do som e fontes de ruído. Na Figura a) as indicações a vermelho representam os sons a condução aérea enquanto que as indicações a laranja representam os sons de percussão.

O ouvido humano, em condições normais, consegue distinguir frequências entre os 20 Hz e os 20000 Hz, compondo esta gama audível de frequências. Frequências abaixo (infra-sons) ou acima (ultra-sons) deste intervalo podem resultar em perturbações graves para o ser humano. (Almeida, 2015).

A consciencialização para um adequado conforto acústico em edifícios tem vindo a aumentar pois há uma maior exigência da população para este aspeto. Em Portugal, surgiu um método de avaliação e classificação acústica para edifícios residenciais, sistema este editado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil em que considera três níveis de avaliação: habitação, edifício e sua envolvente (LNEC, 2014).

A falta de conforto acústico dos edifícios antigos tem vindo a aumentar, pois cada vez há mais fontes de ruído e os seus ocupantes são mais exigentes e mais sapientes neste aspeto, não querendo de maneira alguma ouvir sons provenientes do exterior, das frações vizinhas ou das

zonas comuns ou equipamentos, como por exemplo o elevador. Já nos edifícios novos os requisitos acústicos mínimos regulamentares são cumpridos, havendo um melhor conforto acústico (Souza et al, 2013).

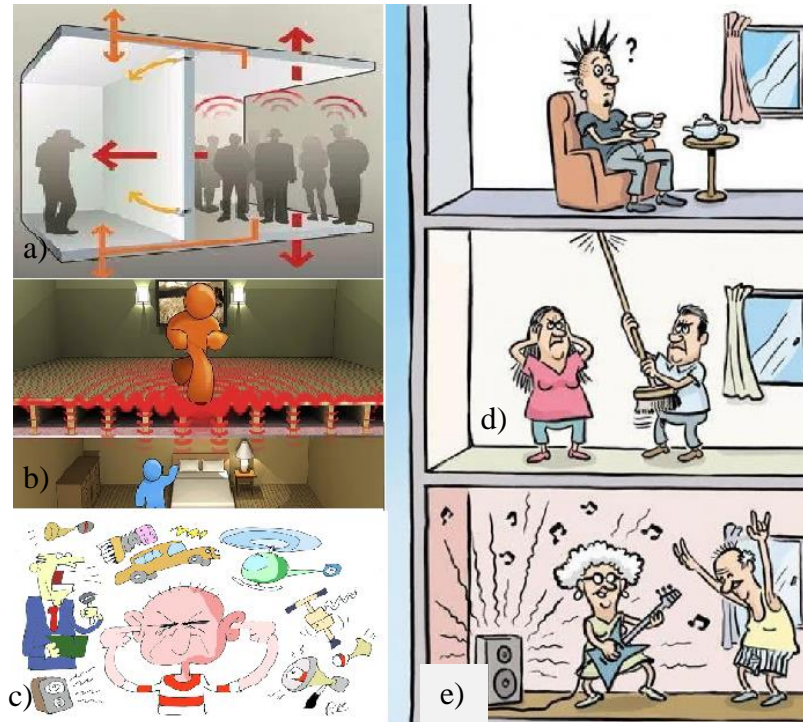


Figura 24 - Tipos de propagação do som e fontes de ruído (Souza et al, 2013). a) Sons de condução aérea e sons de percussão; b) e d) Sons de percussão; c) Fontes de ruído; e) sons de condução aérea

Desde há algumas décadas, os edifícios têm que cumprir a regulamentação relativa ao desempenho acústico, Regulamento Geral do Ruído e, hoje em dia, têm que cumprir o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios que mais posteriormente se falará. Então, surge uma regulamentação na qual são estabelecidos os parâmetros mínimos de desempenho acústico a serem cumpridos (Souza et al, 2013).

Para reduzir a dissipação do som existem materiais e sistemas absorventes sonoros (Figura 25) que absorvem as altas frequências (porosos), as médias frequências (ressoadores) e as baixas frequências (membranas). Os materiais porosos possuem uma estrutura aberta de pequenas dimensões (espaços ociosos) acessíveis às ondas sonoras de comprimento de onda reduzido, ou seja, de frequência alta, que faz com que o ar se movimente ao longo dos interstícios existentes entre as fibras que o compõem (Souza et al, 2013).

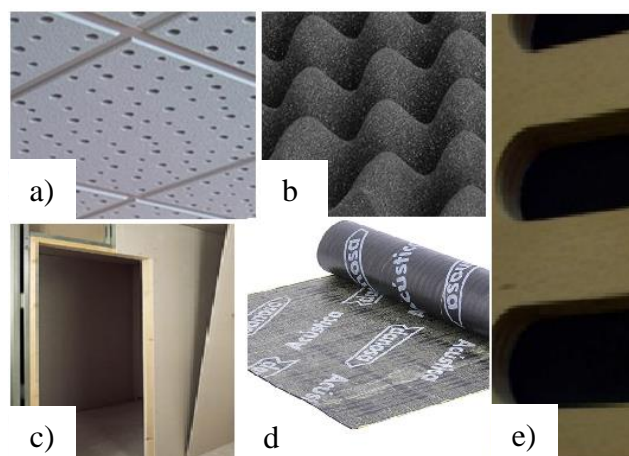


Figura 25 - Materiais e absorventes sonoros. a) e b) Material poroso; c) Painéis de gesso cartonado; d) Membrana resiliente; e) Ressorador

As membranas são constituídas por um painel, normalmente de pequena espessura como o gesso cartonado colocado numa estrutura intermédia que por sua vez está fixada num elemento rígido como a parede, com caixa de ar que pode conter ou não um material poroso, tornando assim estas membranas eficazes na absorção das baixas frequências (Souza et al, 2013).

Os ressoadores ou ressoadores de Helmholtz, como por exemplo, são constituídos por uma cavidade com ar confinado ligado ao ambiente com recurso a uma abertura estreita fazendo com que os mecanismos de dissipação de energia por atrito dos movimentos do ar no contato com as paredes da cavidade sejam responsáveis pelo amortecimento (Tadeu e Mateus 1995).

2.5.2. Regulamentação acústica

Desde 2000, os edifícios, em Portugal, têm que cumprir a regulamentação relativa ao conforto acústico, Regulamento Geral do Ruído (RGR), e hoje em dia têm que cumprir o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Procede-se à alteração do RRAE a partir do Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de maio, que aprova a alteração do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Conforme consta neste regulamento os requisitos a serem cumpridos em edifícios destinados a habitação, estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos acústicos para edifícios destinados a habitação (RRAE, 2002)

SONS DE CONDUÇÃO AÉREA	
Entre exterior do edifício e quartos ou zona de estar dos fogos	
Zonas sensíveis ou zonas mistas	$D_{2m, nT, w} \geq 33\text{dB}$
Zonas sensíveis	$D_{2m, nT, w} \geq 28\text{ dB}$
<i>Nota: estes poderão sofrer um acréscimo de 3 dB se se verificar o disposto no nº7 do artigo 12º do RGR</i>	
Entre compartimentos de um fogo (emissores) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recetores)	
Se o local emissor for um caminho de circulação vertical quando o edifício seja servido por ascensores	$D_{nT, w} \geq 40\text{ dB}$
Se o local for uma garagem de estacionamento automóvel	$D_{nT, w} \geq 50\text{ dB}$
Outros	$D_{nT, w} \geq 48\text{ dB}$
SONS DE PERCUSSÃO	
Sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício (emissores) e o interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (recetores)	$L'_{nT, w} \leq 60\text{ dB}$
<i>Nota: a disposição estabelecida na alínea anterior não é aplicável caso o emissor seja um caminho de circulação vertical quando o edifício for servido por ascensores.</i>	

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. Programas de simulação térmica e acústica

Na análise do comportamento térmico e acústico existem diversos programas que é possível utilizar, no entanto na presente dissertação usou-se o Acoubat Sound e o Design Builder.

3.1.1. Análise do comportamento térmico

3.1.1.1. *Design Builder*

O programa de simulação térmica, denominado de Design Builder, é um programa de simulação computacional do desempenho energético das edificações permitindo identificar o impacto do consumo de energia por meio de fatores como a volumetria e o zoneamento. Este programa de simulação, que permite construir uma modelação em 3D, permite testar diversas soluções, por exemplo diferentes tipos de vidro, elementos de sombreamento e materiais em geral com propriedades térmicas distintas, diversos sistemas de ar condicionado.

Com os resultados fornecidos pelo programa que comparados podem ajudar na tomada de decisão. Este programa é uma interface avançada do programa informático *Energy Plus* que possibilita a execução dos cálculos e simulações, tendo sido desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE – The Department Of Energy) nos Estados Unidos da América.

No Design Builder existem duas bases de dados distintas: a de componentes e a de modelos (Figura 26**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). A primeira biblioteca é formada por materiais de construção, climas, horários de utilização, equipamentos entre outros. Já a segunda biblioteca é composta por modelos mais usados sendo sido já precocemente criados.

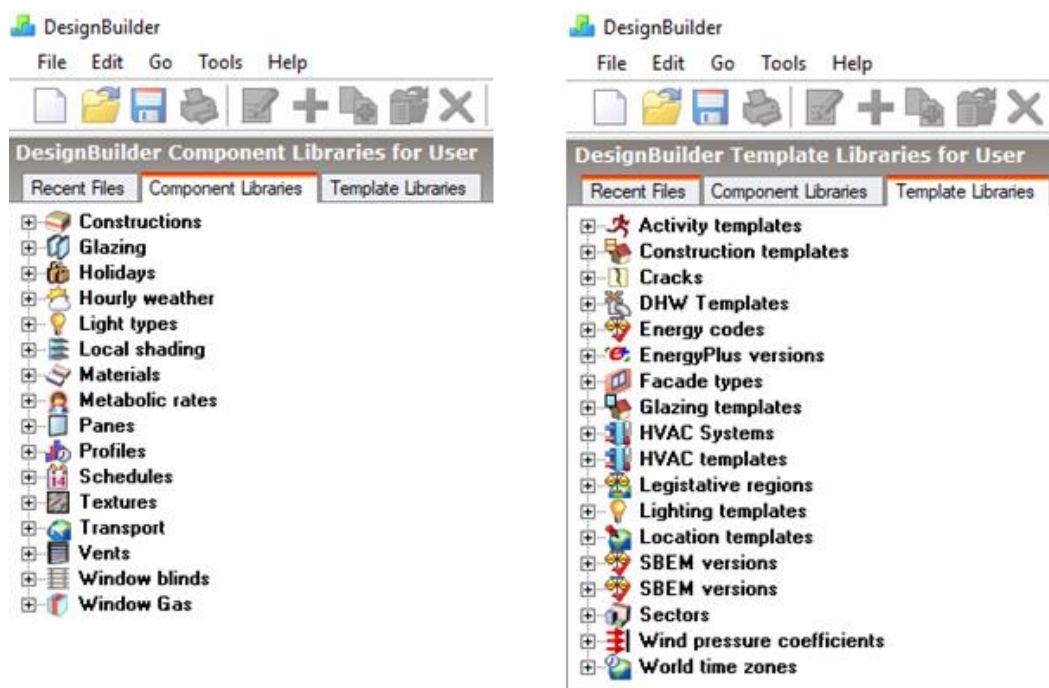


Figura 26 - Bases de dados de componentes e modelos, respetivamente, do Design Builder

Estas bibliotecas possuem uma relevante gama de climas, materiais, elementos construtivos e sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Na presente dissertação foi selecionado o ficheiro correspondente à região de Braga pois é onde se encontra o edifício em estudo. Este programa funciona com hierarquia de dados, isto é, se introduzir uma certa alteração numa categoria, esta alteração irá ser aplicada a todas as categorias subjacentes, não sendo necessário alterar o mesmo nas categorias subjacentes (Figura 27).



Figura 27 - Hierarquia de dados do Design Builder

Esta hierarquia é demonstrada no painel de navegação à esquerda, permitindo assim o fácil acesso a cada uma das categorias. Assim caso se pretenda alterar a constituição das paredes de um só piso, introduz-se essa mudança na categoria *Block*, porém se se quiser alterar para o edifício na totalidade, essa alteração terá de ser inserida na categoria *Building*, ou seja, permite que se defina/altere as características do edifício desde o nível mais geral ao nível mais detalhado. Depois de ser criar um novo projeto, definindo o nome do projeto (*Title*), localização (Braga) e tipo de análise (EnergyPlus), começa-se por efetuar a conceção da geometria do edifício a analisar recorrendo assim a instrumentos de desenho assistido por computador,

surgindo desta forma o modelo base de todo o projeto. Na Figura 28 é apresentada a geometria do edifício em estudo e dos edifícios adjacentes.

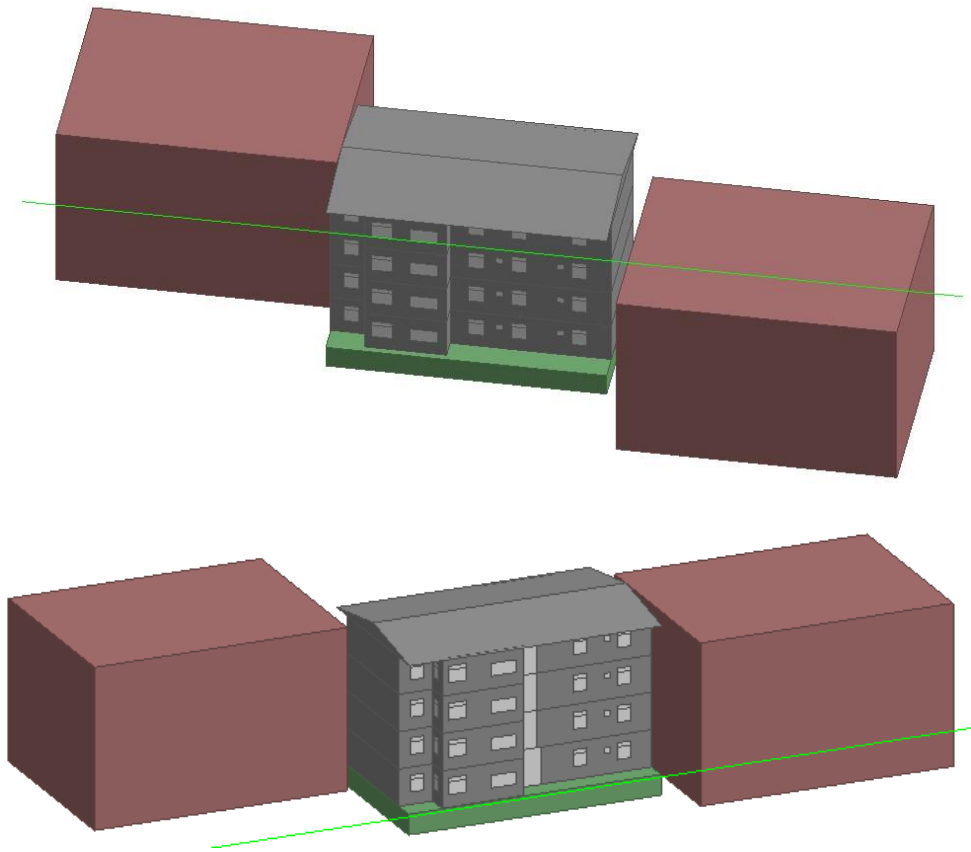


Figura 28 - Visualização 3D do edifício em estudo no Design Builder

Concluída a criação da geometria do edifício (cada andar, cada fração e cada zona) é preciso identificar cada zona (92 zonas no total com a inclusão dos blocos adjacentes), a atividade a desenvolver em cada zona, pois afeta os ganhos térmicos internos que por sua vez irão influenciar as necessidades de arrefecimento, aquecimento e ventilação. É no separador *Atividades* que se faz esta identificação, e também dos fatores ocupação, temperatura, ventilação, iluminação e equipamentos (Figura 29). O programa dispõe de uma lista variada de modelos padrão pré-definidos consoante a identificação da zona, no entanto, para o caso em estudo, foi criado um modelo, para cada fator, que se adequa melhor ao imóvel em estudo.

The screenshot shows the 'Activity' window with the following settings:

- Activity Template:**
 - Template: Dwell_DomKichen
 - Sector: Dwelling
 - Zone type: 1-Standard
 - Zone multiplier: 1
 - Include zone: ☒
- Occupancy:**
 - Density (people/m2): 0,1000
- Schedule:**
 - Schedule: Ocupação cozinha
- Metabolic:**
 - DHW: ☒
 - Environmental Control: ☒
- Heating Setpoint Temperatures:**
 - Heating (°C): 18,0
 - Heating set back (°C): 12,0
 - Cooling Setpoint Temperatures:
 - Cooling (°C): 25,0
 - Cooling set back (°C): 28,0
- Ventilation Setpoint Temperatures:**
 - Minimum Fresh Air: ☒
 - Lighting: ☒
- Computers:**
 - On: ☐
- Office Equipment:**
 - On: ☐
- Miscellaneous:**
 - On: ☒
 - Gain (W/m2): 1,00
 - Schedule: Equipamentos cozinha
 - Fuel: 1-Electricity from grid
 - Fraction lost: 0,000
 - Latent fraction: 0,000
 - Radiant fraction: 0,200
- Cooling:**
 - On: ☒
 - Gain (W/m2): 1,00
 - Schedule: Cozinha e DHW cozinha
 - Fuel: 2-Natural Gas
 - Fraction lost: 0,000
 - Latent fraction: 0,000
 - Radiant fraction: 0,200

Figura 29 - Janela de seleção da atividade, como por exemplo uma zona destinada a cozinha

É na etapa seguinte (Figura 30) que se definem as características construtivas do edifício, como as paredes exteriores, cobertura, paredes interiores, pavimento e também elementos semi-expostos (elementos interiores com requisitos de exterior) e o nível de infiltração. Para definir estas características poder-se-á utilizar os modelos da base de dados que o programa contém, ou então criar modelos específicos definindo assim novos materiais. Para a inserção de novos materiais é necessário, aquando a adição de uma nova solução, introduzir o nome do novo material, selecionar a categoria onde este vai estar inserido, introduzir o valor da condutividade térmica e densidade ou então introduzir apenas a resistência térmica do material. Depois de adicionar um novo material à biblioteca de materiais terá de se introduzir a espessura do mesmo.

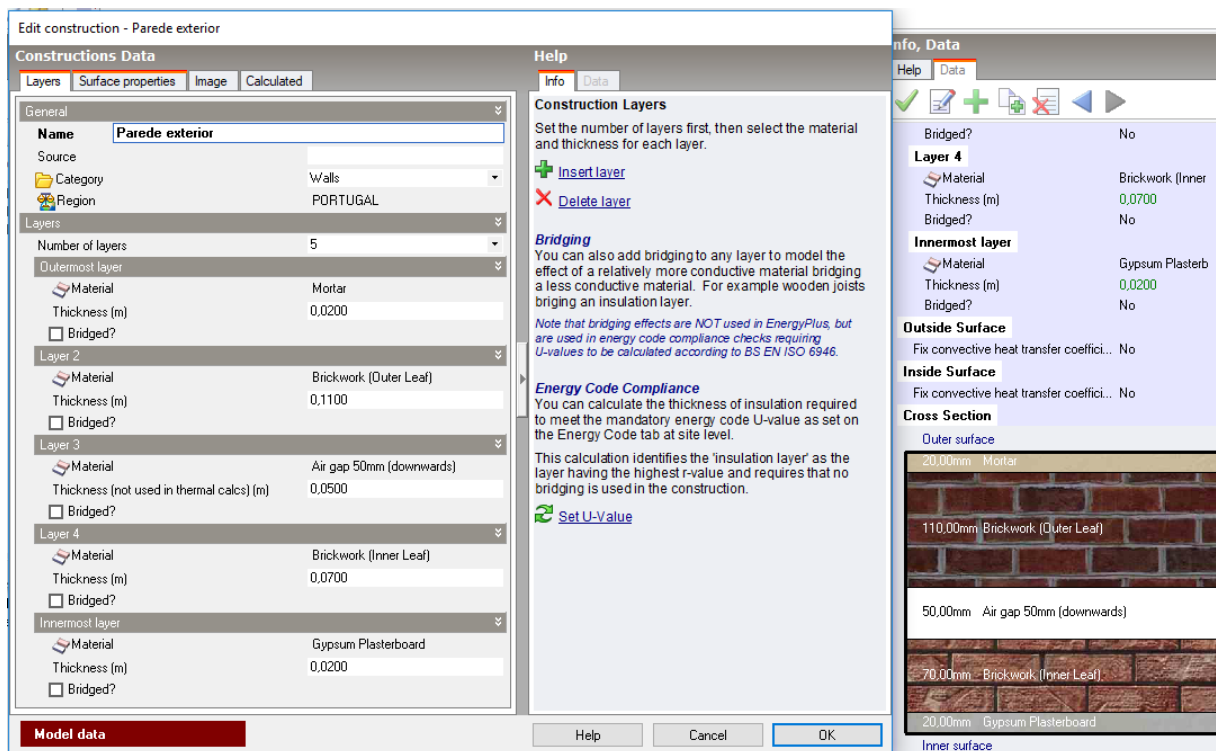


Figura 30 - Janela de caracterização da solução construtiva, por exemplo para uma parede exterior

Na fase seguinte seleciona-se o tipo de vãos envidraçados e tal como as fases anteriores, também existe uma base de dados destinada a vãos envidraçado e também a possibilidade de criar um novo elemento. Neste separador também se seleciona o tipo de sombreamento assim como um plano de utilização do mesmo.

A etapa seguinte destina-se à definição dos sistemas de iluminação, procedendo-se de forma semelhante como nas fases precedentes, tendo sido criado, igualmente, um modelo de utilização associando assim o desempenho da iluminação e respetivos consumos de energia consoante cada zona.

Depois de definir o parâmetro de iluminação definindo o sistema AVAC onde são definidos os critérios de ventilação, natural ou mecânica, aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias (DHW – *Domestic Hot Water*).

Para o caso em estudo foi definido planos de utilização (Schedule) em cada zona, para os parâmetros de *Occupancy*, *DHW*, *Miscellaneous*, *Catering*, *Lighting*, *Heating*, *Cooling*, *Natural Ventilation* e *Shading*.

Concluída a conceção do modelo do edifício efetua-se a simulação para o intervalo de tempo que se pretende. O Design Builder possibilita a simulação do comportamento energético do edifício para um dia/mês ou intervalo de dias/meses em específico ou para um ano apresentando os resultados sob a forma de gráficos, grelhas ou tabelas (Figura 31).

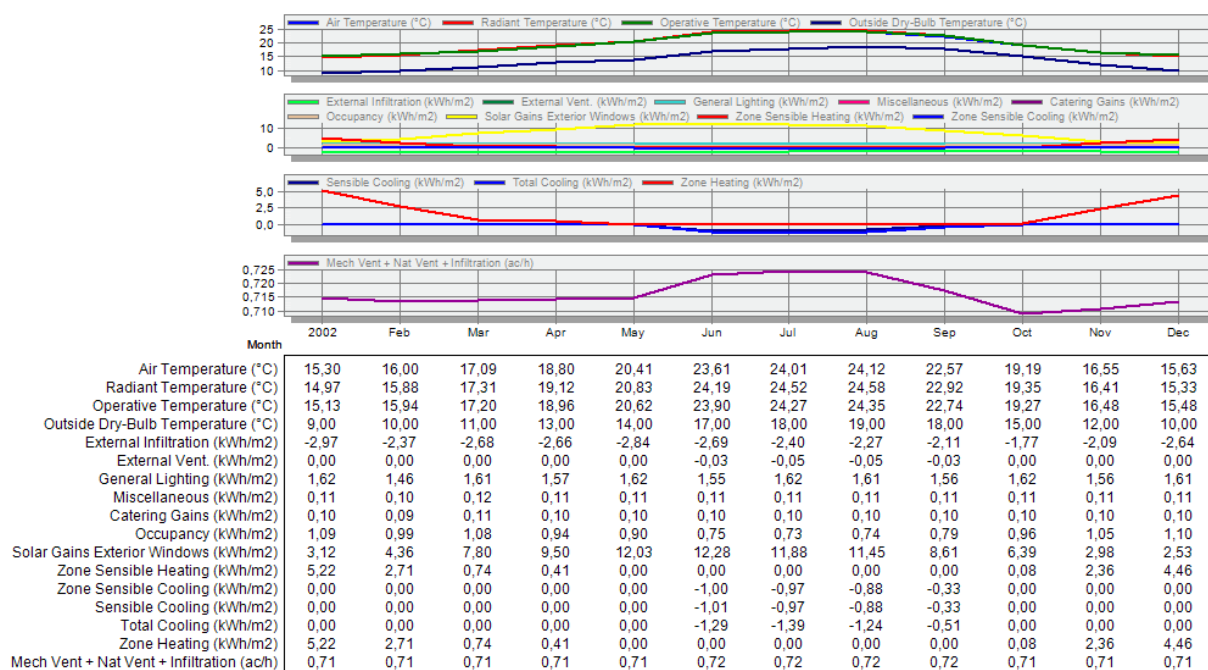


Figura 31 - Exemplo da forma de apresentação dos resultados do Design Builder, em gráfico e tabela

3.1.2. Análise do desempenho acústico

3.1.2.1. Acoubat Sound

O Acoubat sound é um programa de simulação computacional que prevê através de modelos simplificados, o isolamento sonoro, com base na Lei da massa e da Frequência. Este programa permite o cálculo do isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão em conformidade com a norma EN 12354-5:2009 a partir de produtos caracterizados ou pela norma EN 15657-1:2009 quer pela EN 14366-2004 (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, CSTB).

O desempenho acústico das soluções construtivas a sons de condução aérea, considera que, a difusão sonora se transmite através de diversas vias de transmissão entre duas divisões adjacentes, como a transmissão vertical, horizontal e diagonal. Estas transmissões designam-se por $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, determinadas com base na norma EN ISO 717-1:1996 (CEN 1996a).

A análise do desempenho acústico a sons de percussão das soluções construtivas, também considera a sua transmissão sonora através da transmissão vertical, horizontal e diagonal. No entanto, para sons de percussão, estas transmissões denominam-se por $L'_{nT,w}$ que são determinados com base na norma EN ISO 717-2:1996 (CEN 1996b).

Para se realizar esta simulação, o programa recorre à base de dados, onde se encontram as características do comportamento acústico dos elementos construtivos, permitindo sempre a introdução de novos elementos construtivos à base de dados. A restante metodologia encontra-se no Anexo II – lei da massa, pois foi necessário recorrer à metodologia simplificada da lei da massa, para determinar a curva estimada de isolamento sonoro, em cada frequência, para todos os elementos construtivos.

A Figura 32 apresenta um exemplo da simulação do Acoubat Sound, onde se pode verificar a curva de isolamento sonoro para os vários elementos construtivos da divisão em estudo.

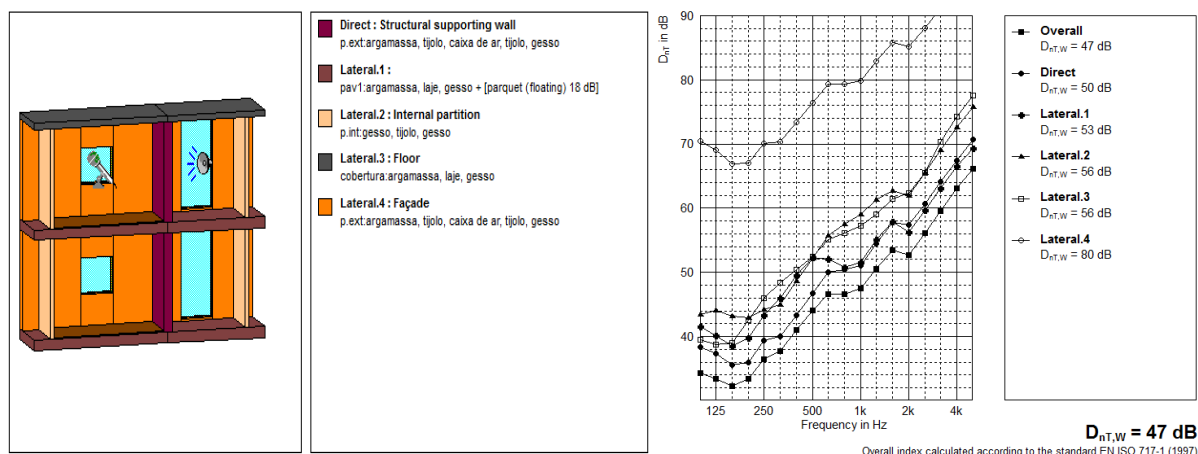


Figura 32 - Exemplo de simulação do Acoubat Sound com geometria e valores do índice de isolamento sonoro

3.2. Análise Económica

A análise económica é um parâmetro muito importante em estudos, principalmente neste estudo por se tratar de uma reabilitação. Assim, torna-se necessário conhecer os custos dos materiais utilizados e à aplicação das diferentes soluções de reabilitação como também os custos associados ao consumo energético para que se possa determinar o custo de investimento e a poupança de energia relativamente a cada intervenção.

Uma vez que na reabilitação somente são introduzidas as soluções de reabilitação pelo exterior dos elementos já existentes, o parâmetro de variação do custo a investir irá corresponder ao custo de implementação de cada uma das soluções de intervenção.

Na Tabela 6 apresentam-se as áreas dos elementos a reabilitar ou a alterar, por m².

Tabela 6 - Áreas dos elementos a serem reabilitados

	Área (m2)
Paredes de fachada	2029,613
Paredes entre frações	133,322
Elementos horizontais	811,845
Envidraçados	67,424

Para o cálculo de custo, recorre-se ao Gerador de Preço do CYPE em que já está incluído os materiais, transporte, montagem da solução de reabilitação, mão de obra, maquinaria e outros custo indiretos associados à implementação de cada uma das soluções de intervenção (CYPE).

Como se trata de reabilitação de edifícios, geralmente, o período de vida útil é mais reduzido tornando assim o tempo obtido para o período de retorno do investimento elevado.

Para que se possa compreender melhor qual a melhor solução de reabilitação, torna-se imprescindível compreender qual a melhor relação entre o desempenho energético do edifício e o custo que as novas medidas de reabilitação podem fornecer ao edifício atual, é necessário observar a variação das necessidades energéticas em termos económicos. Assim é quantificado o custo da energia consumida ao longo do tempo de cada solução de intervenção comparativamente ao edifício sem qualquer tipo de reabilitação determinando desta forma a poupança energética conseguida para cada medida de reabilitação.

Desta forma é necessário conhecer o preço da energia e sua previsão ao longo do tempo. Após consulta dos preços de referência da energia pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, ERSE, pode-se verificar que para o ano de 2017 o preço é de 0,162 €/kWh. O custo da energia, segundo esta entidade, é estimado a um crescimento de 2,5% anualmente (ERSE).

Relativamente ao período de retorno, irá ser calculado tendo em conta que a poupança energética irá corresponder a um período de 30 anos, assim calcula-se o período de retorno em anos.

3.3. Caso de estudo

O edifício em análise pertence ao bloco C de um bairro social inserido na Freguesia de S. Vitor em Braga, mais conhecido como bairro social das Enguardas e como sendo uma construção da década de 70 (1970) requer reparações de várias ordens, principalmente em termos acústicos e térmicos.

O edifício é multifamiliar, com rés do chão (piso térreo) e 3 pisos superiores, com frações de tipologia T3 e T4 sendo constituído por 8 frações. As frações do lado esquerdo são iguais e as frações do lado direito também em termos de disposição das divisórias, paredes e outros elementos construtivos (Figura 33).

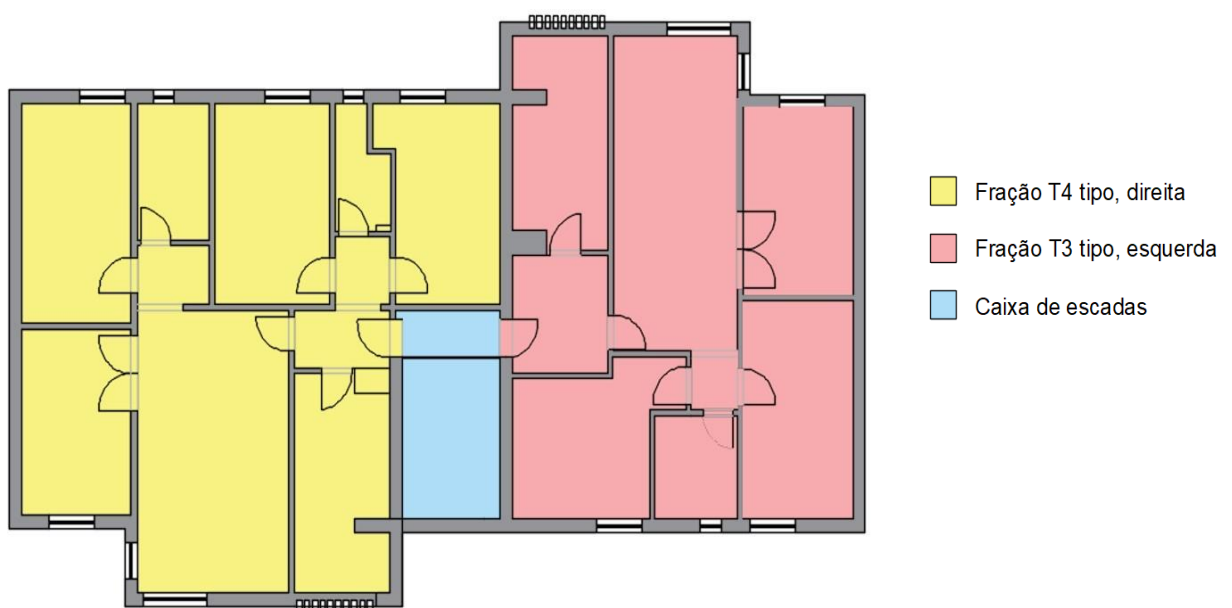


Figura 33 - Planta tipo do edifício de estudo

Segundo a memória descritiva do edifício, a cobertura é inclinada com telha cerâmica, desvão não habitável, com laje aligeirada de 15 cm, 2 cm de betonilha, e 2 centímetros de gesso projetado (Figura 34).

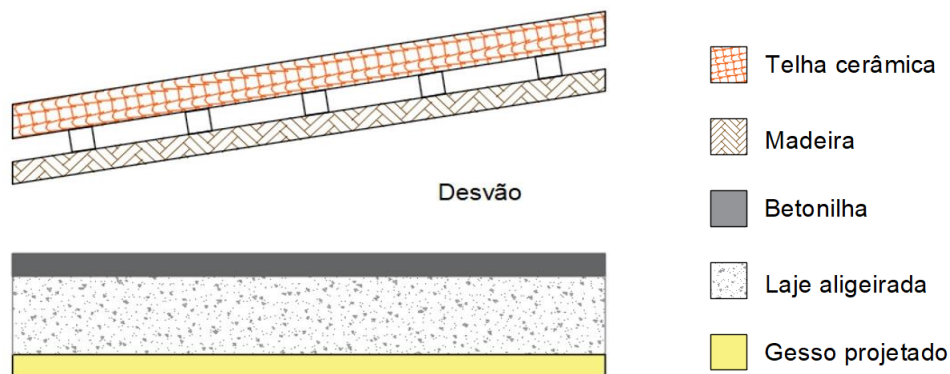


Figura 34 - Pormenor da cobertura do edifício

A parede exterior, parede de fachada, apresenta, do interior para o exterior, 2 cm de gesso projetado, tijolo de 7 cm, 5cm de caixa de ar, tijolo de 11 cm e 2 cm de argamassa (Figura 35).



Figura 35 - Pormenor das paredes exteriores do edifício

A parede de separação entre frações e caixa de escadas e zona comum e paredes divisórias apresenta tijolo de 7 cm entre os 2 cm de gesso projetado (Figura 36).



Figura 36 – Pormenor das paredes divisórias e parede de separação entre frações e caixa de escada e zona comum

O pavimento térreo e os restantes pavimentos apresentam 2 cm de gesso projetado, laje aligeirada de 15 cm e 2 cm de betonilha (Figura 37).

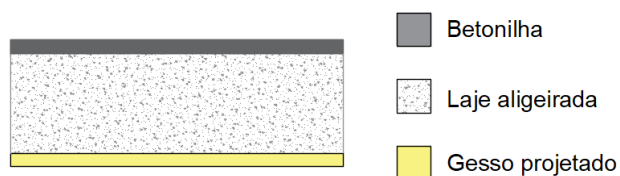


Figura 37 - Pormenor do pavimento superior

O primeiro passo do estudo realizado foi administrar inquéritos aos ocupantes do edifício (ver Anexo I – Inquéritos) a fim de conhecer, segundo os habitantes do edifício, quais as anomalias existentes na habitação, se já efetuaram algum tipo de reparação e quais as reparações que estariam dispostos a efetuar. Foram efetuados 8 inquéritos, ou seja, um inquérito por cada fração. Depois de analisados os inquéritos verificou-se que a maioria dos habitantes do edifício em questão residem no mesmo desde a sua construção e também já efetuaram algum tipo de reparação, nomeadamente no pavimento, portas e pintura. No entanto, mesmo tendo existia melhorias, ainda existe diversas anomalias no presente, principalmente em perdas de calor, ganhos excessivos de calor e ruídos proveniente de outra frações e da zona comum do edifício. Atualmente, os ocupantes gostariam de fazer reparações ao nível do pavimento, caixilharia, revestimentos e envidraçados. Assim, tendo esta análise por base, elaborou-se as soluções de reabilitação, pois o edifício carece de conforto térmico, mesmo com consumos energéticos elevados, e também se verificou a carência de conforto acústico.

Numa segunda fase, tendo como base os valores de referência (elementos construtivos) do ano de construção do edifício efetuou-se uma simulação dos parâmetros térmicos e acústicos, ou seja, uma análise do edifício existente. Estes dados irão permitir a execução de uma comparação relativamente aos resultados da implementação de cada uma das soluções de reabilitação. Tal como apresenta a Tabela 7, para a situação atual, as necessidades quer de aquecimento quer de arrefecimento apresentam valores elevados.

Tabela 7 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento para a situação atual do edifício, por fração

Situação atual do edifício		
	Necessidades de aquecimento (kWh/m ² .ano)	Necessidades de arrefecimento (kWh/m ² .ano)
R/chão direito	218,78	0,00
R/chão esquerdo	322,99	0,00
1º direito	150,45	8,86
1º esquerdo	230,02	9,19
2º direito	156,72	29,36
2º esquerdo	227,34	39,26
3º direito	221,10	45,05
3º esquerdo	311,20	68,29
TOTAL	1838,60	200,01

Na Tabela 8 são apresentados os valores do índice de isolamento sonoro, a sons de condução aérea e a sons de percussão, entre o quarto da fração direita e a caixa de escadas. Como se pode verificar, os resultados obtidos não cumprem os requisitos exigidos pelo RRAE.

Tabela 8 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre o quarto da fração direita e a caixa de escadas, para a situação atual do edifício

Situação atual do edifício			
Sons de condução aérea			
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	46	≥ 48 dB Não verifica
Escadas inferior	Quarto inferior	46	≥ 48 dB Não verifica
Exterior	Quarto superior	40	≥ 33 dB Verifica
Exterior	Quarto inferior	40	≥ 33 dB Verifica
Sons de percussão			
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	63	≤ 60 dB Não verifica

Na Tabela 9 apresenta-se os dados obtidos entre a cozinha da fração direita e o quarto da fração esquerda, e tal como se pode verificar o índice de isolamento sonoro não é cumprido.

Tabela 9 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre a cozinha da fração direita e quarto da fração esquerda, para a situação atual do edifício

Situação atual do edifício			
Sons de condução aérea			
Emissor	Recetor	$D_{nT,w}$ (dB)	Verificação
Cozinha superior	Quarto superior	46	≥ 50 dB Não verifica
Cozinha inferior	Quarto inferior	46	≥ 50 dB Não verifica
Exterior	Quarto superior	40	≥ 33 dB Verifica
Exterior	Quarto inferior	40	≥ 33 dB Verifica
Sons de percussão			
Emissor	Recetor	$L'_{nT,w}$ (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	63	≤ 60 dB Não verifica

Na Tabela 10 apresenta-se os valores obtidos para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão e a sons de condução aérea para o edifício atualmente. Estes valores não verificam, na sua totalidade, os requisitos acústicos da regulamentação.

Tabela 10 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre o quarto da fração esquerda e a caixa de escadas, para a situação atual do edifício

Situação atual do edifício			
Sons de condução aérea			
Emissor	Recetor	$D_{nT,w}$ (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	47	≥ 48 dB Não verifica
Escadas inferior	Quarto inferior	46	≥ 48 dB Não verifica
Exterior	Quarto superior	40	≥ 33 dB Verifica
Exterior	Quarto inferior	40	≥ 33 dB Verifica
Sons de percussão			
Emissor	Recetor	$L'_{nT,w}$ (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	62	≤ 60 dB Não verifica

3.3.1. Caraterização das soluções de reabilitação

Um dos problemas mais encontrados nas fachadas dos edifícios habitacionais mais antigos, como é o caso em estudo, é a ausência de isolamento. Após análise das vantagens e

desvantagens da colação do isolamento pelo exterior e pelo interior, optou-se pela colocação deste pelo exterior (sistema ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems) para as paredes de fachada. Assim, foram definidas para análise, 5 soluções de reabilitação.

Na solução 1 foi inserido tanto nas paredes de fachada como nos elementos horizontais, 5 cm de XPS.

Na solução 2, foram introduzidos vãos envidraçados de vidro duplo de 3 mm, lâmina de ar de 6 mm e vidro duplo de 3 mm, além do XPS já introduzido na solução 1.

Relativamente à solução 3 foi inserido 5 cm de lã de rocha quer nas paredes de fachada ou nos elementos horizontais. Além deste material, também foi inserido uma membrana acústica Danosa de 4 mm (MAD 4) nos pavimentos do edifício em estudo.

Na solução 4 foram mantidos os materiais e espessuras definidos pelo autor, sendo constituído por uma barreira para-vapor, 120 mm de XPS, 1,5 mm perfil U em aço, 60 mm de aglomerado negro de cortiça e 6 mm de revestimento em alumínio. Esse elemento é denominado por Módulo de Reabilitação Pré-fabricado (MRP) o qual foi desenvolvido pelo Eng. Pedro Silva na Universidade do Minho no âmbito do projeto Annex 50 da Agência Internacional de Energia (IEA – International Energy Agency) tendo sido financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto “Reabilitação Energética de Edifícios”. O MRP tem como objetivo o aumento da eficiência energética dos edifícios, a redução do tempo dos trabalhos de reabilitação como também o incómodo causado aos seus ocupantes e consequentemente a redução de encargos económicos inerentes. Este módulo é inteiramente pré-fabricado e assim sendo garante a sua qualidade e rapidez de produção. É um painel leve e com dimensões que facilitam o seu manuseamento, transporte e colocação podendo ser incorporadas tubagens e o seu revestimento exterior detém de uma larga gama de cores e texturas proporcionando aos residentes diversidade de escolha (Silva, 2012).

Por fim, na solução 5 foi inserido o poliuretano (PUR) de 5 cm tanto nas paredes de fachada como nos elementos horizontais. Além deste isolamento térmico, também foi introduzido uma membrana resiliente de polietileno de 4 mm nos pavimentos.

As soluções de reabilitação apresentadas, foram escolhidas perante o valor da condutividade do isolamento e seu comportamento térmico e acústico como também pelo seu custo, período de vida útil e manuseamento em obra.

Na Tabela 11 são apresentadas as principais características dos elementos construtivos para cada solução de reabilitação.

Para a simulação do desempenho térmico ainda foi inserido o tipo de iluminação *suspended*, o tipo de sistema de sombreamento *Venetian blinds – médium (modelled as diffusing)*, o tipo de produção de águas quentes sanitárias (AQS) *Instantaneous DHW only* a gás natural e o tipo de climatização *convective*.

Tabela 11 – Características dos elementos construtivos para cada solução de reabilitação estudada

Solução	Elemento construtivo	Massa Volúmica, ρ (kg/m ³)	U (W/m ² .K)
1	Parede de fachada	8135	0,450
	Elementos horizontais	5225	0,535
2	Vidro duplo de 3 mm e lâmina de ar de 6 mm	Condutividade térmica (W/m.K)	3,226
		0,9	
3	Parede de fachada	7120	0,473
	Elementos horizontais	5210	0,537
4	Parede de fachada	4410	0,205
5	Parede de fachada	7135	0,403
	Elementos horizontais	5225	0,470

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No capítulo que se segue são apresentados os resultados provenientes das simulações efetuadas ao edifício em estudo com recurso ao Design Builder e ao Acoubat Sound. Com as informações descritas nesta fase, poder-se-á realizar uma análise de quais são as melhorias verificadas com a implementação de cada uma das soluções de reabilitação estudadas.

4.1. Inquéritos

Depois de se efetuar os inquéritos aos habitantes do edifício em estudo, conclui-se que atualmente existem anomalias no edifício, nomeadamente nas zonas de estar. Estas anomalias, identificadas pelos seus ocupantes, é principalmente o ruído proveniente de outras frações e da caixa de escadas e as elevadas trocas de calor assim como os ganhos excessivos de calor. No Anexo I – Inquéritos apresenta-se os resultados dos inquéritos efetuados aos habitantes do edifício.

4.2. Desempenho energético

Um dos grandes gastos em habitações é o consumo energético. Além dos consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento, os espaços não apresentam condições de conforto térmico mínimas para os seus ocupantes, fazendo com que valha a pena investir na reabilitação para se conseguir reduzir a fatura energética e também para melhor as condições de conforto. O edifício foi simulado para o período de um ano para as várias soluções de reabilitação.

4.2.1. Necessidades de aquecimento (kWh/m².ano)

Na Tabela 12 apresenta-se os resultados obtidos das necessidades de aquecimento para a situação atual do edifício em estudo e também para cada uma das soluções de reabilitação estudadas.

Tabela 12 - Necessidades de aquecimento para a situação atual e para cada solução de reabilitação, por fração do edifício

	Necessidades de aquecimento (kWh/m ² .ano)					
	Situação atual	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5
R/chão direito	218,78	214,53	211,02	213,75	176,94	215,11
R/chão esquerdo	322,99	315,51	311,35	314,55	258,39	316,22
1º direito	150,45	86,91	77,96	91,58	96,98	83,26
1º esquerdo	230,02	127,81	115,94	135,04	139,39	122,29
2º direito	156,72	80,40	71,09	84,99	96,86	76,97
2º esquerdo	227,34	116,23	103,92	123,20	136,73	110,90
3º direito	221,10	109,01	99,58	116,18	165,82	103,64
3º esquerdo	311,20	149,08	137,42	159,66	233,21	141,10
TOTAL	1838,60	1199,48	1128,28	1238,95	1304,32	1169,49

Depois de analisar os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento, concluiu-se que que as frações do lado direito são as que apresentam menores valores comparativamente à fração à esquerda, pois do lado direito do edifício em estudo, existe um edifício adjacente com contacto direto ao edifício em estudo, proporcionando assim uma espécie de proteção e consequentemente, estas frações do lado direito têm menor necessidade de aquecimento.

As frações do rés do chão são as frações que apresentam maior necessidade de aquecimento, poder-se-á dever ao facto de o rés do chão ser o piso térreo do edifício e também poderá ser, devido à altura a que se situa, o piso que menos recebe ganhos solares, ao contrário dos restantes pisos superior, que devido ao facto de se situarem mais afastados do solo, ou seja, outros edifícios na envolvente não provocam tanto sombreamento poderão ter ganhos solares superiores em relação ao rés do chão.

Com as soluções de reabilitação estudadas, verifica-se que em todas as frações ocorre uma redução das necessidades de aquecimento, sendo esta mais atenuada na solução 2. A solução 4 é a que apresenta uma redução menor comparativamente às outras soluções de reabilitação, no entanto, esta situação poderá ser devido ao facto de a solução 4 apenas fazer intervenção nas paredes de fachada.

Na Figura 38 , apresenta-se um resumo das necessidades de aquecimento, para um ano para o edifício na totalidade.

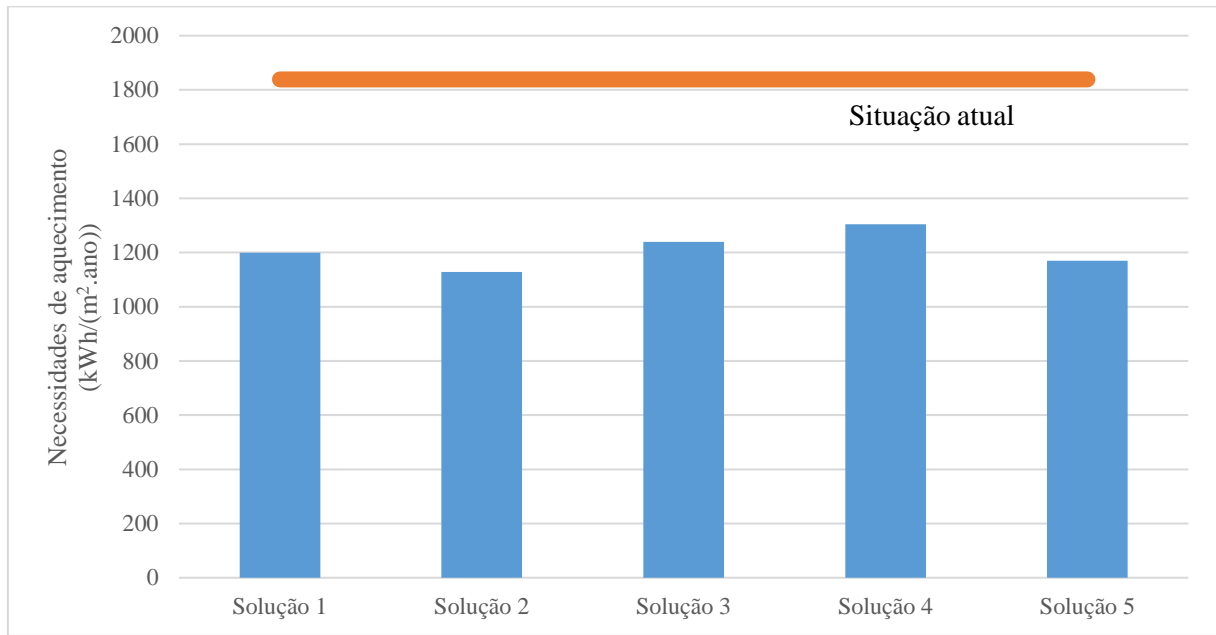


Figura 38 - Necessidades de aquecimento anuais para cada solução

4.2.2. Necessidades de arrefecimento (kWh/m².ano)

Na Tabela 13 apresenta-se os resultados obtidos das necessidades de arrefecimento, para a situação atual do edifício em estudo, e também para cada uma das soluções de reabilitação estudadas.

Tabela 13 - Necessidades de arrefecimento para a situação atual e para cada solução de reabilitação, por fração do edifício

	Necessidade de arrefecimento (kWh/m².ano)					
	Situação atual	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5
R/chão direito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R/chão esquerdo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1º direito	8,86	23,14	21,26	20,61	5,34	25,39
1º esquerdo	9,19	24,3	21,88	20,86	3,57	27,51
2º direito	29,36	53,42	53,11	50,86	31,43	55,47
2º esquerdo	39,26	71,41	70,43	67,83	38,80	74,16
3º direito	45,05	48,65	49,21	47,81	56,45	49,36
3º esquerdo	68,29	72,45	72,40	71,14	79,32	73,56
TOTAL	200,01	293,37	288,29	279,11	214,91	305,45

Após análise dos resultados obtidos para as necessidades de arrefecimento, concluiu-se que apesar de ocorrer um aumento das necessidades de arrefecimento, esse aumento atinge cerca de

50 % das necessidades. Não é invulgar que surja um aumento das necessidades de arrefecimento, no entanto, dado o caso em questão, este acréscimo poderá ser devido ao facto de o edifício atualmente não possuir qualquer tipo de isolamento. Geralmente, as necessidades de arrefecimento podem aumentar ligeiramente, pois quando é reforçado o isolamento térmico da envolvente, a resistência térmica da envolvente também aumenta fazendo com que o calor presente no interior do edifício tenha mais dificuldade em sair, diminuindo assim as trocas de calor com o exterior e mantendo-se o calor dentro do edifício. Uma solução que eventualmente poderá melhorar esta necessidade seria a alteração da espessura ou a localização do isolamento. No entanto, o problema está na estação de verão e como tal, para melhorar as necessidades de arrefecimento, ou seja, reduzir estas necessidades, é preciso melhorar as condições de ventilação noturna e consequentemente reduzir-se-á as cargas térmicas.

As frações referentes ao rés do chão apresentam necessidade de arrefecimento nulas. Este resultado deve-se ao facto do rés do chão ser o piso térreo. As frações do lado direito são as que apresentam menores valores comparativamente à fração à esquerda.

Na Figura 39 apresenta-se um resumo das necessidades de arrefecimento, para um ano, de cada fração do edifício em estudo.

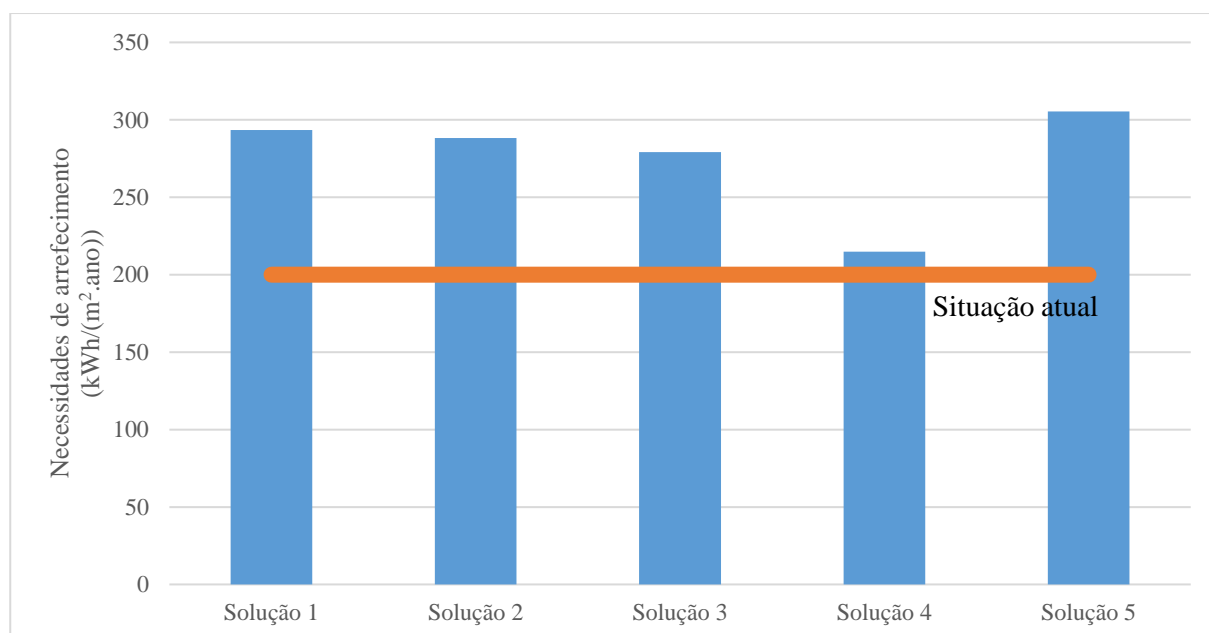


Figura 39 - Necessidades de arrefecimento anuais para cada solução.

Em suma, face à situação atual (Figura 40):

- a solução 1 mostra uma redução de 35% das necessidades de aquecimento, no entanto apresenta um acréscimo de 47% das necessidades de arrefecimento;
- a solução 2 exibe uma diminuição de 39% das necessidades de aquecimento e um aumento de 44% das necessidades de arrefecimento;
- a solução 3 mostra um decréscimo de 1/3 das necessidades de aquecimento, enquanto que as necessidades de arrefecimento crescem 40%;
- a solução 4 apresenta uma retração de 29% quanto ao desempenho de inverno, porém tem uma elevação de apenas 7% relativamente ao desempenho de verão;
- a solução 5 diminui 36% referente à necessidade de aquecimento e um aumento de 53% pertencente à necessidade de arrefecimento.

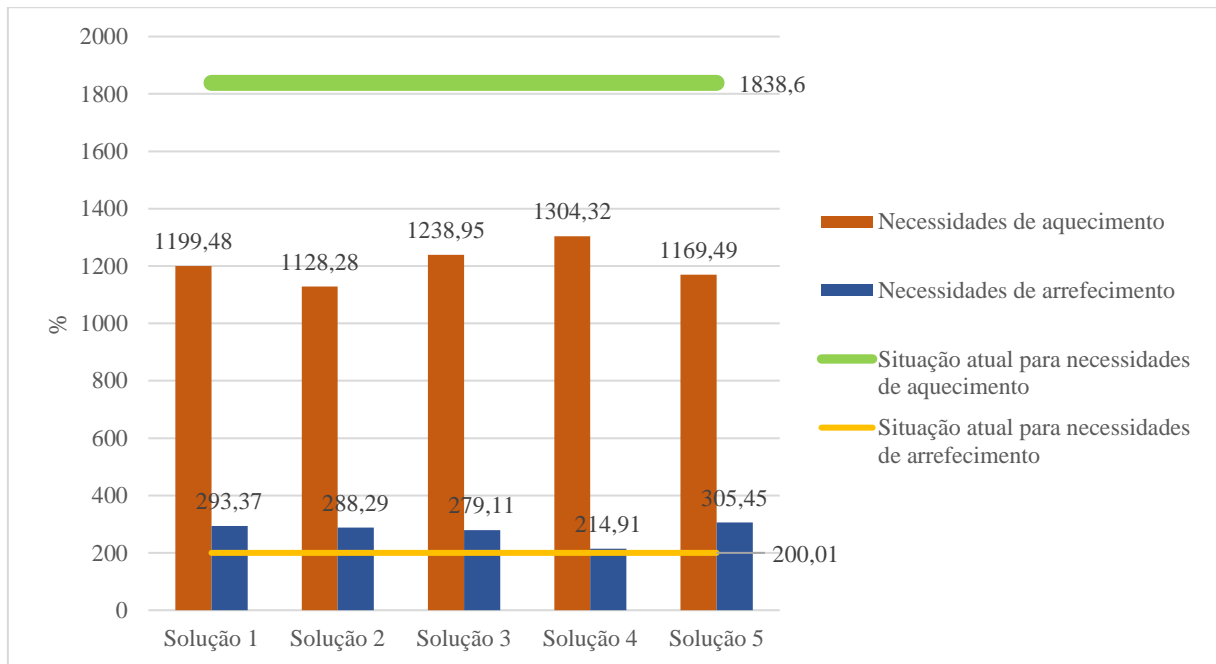


Figura 40 - Desempenho energético para cada solução de reabilitação (em percentagem)

4.3. Desempenho acústico

Segundo o Plano Diretor Municipal (PDM), o caso em estudo localiza-se numa zona mista. Como a área de envidraçado não é superior a 60% da área de fachada, conforme o RRAE, não é necessário o cálculo de adaptação C ou Ctr.

A análise do desempenho a sons de condução aérea e a sons de percussão dividem-se em três, sendo A1 para a análise entre o quarto da fração direita e a caixa de escadas, A2 entre a cozinha

da fração direita e o quarto da fração esquerda e por fim a A3 a análise entre o quarto da fração esquerda e a caixa de escadas.

4.3.1. Análise a sons aéreos e a sons de percussão (A1, A2 e A3)

Na Figura 41 e nas Tabelas 14 e 15 encontram-se os resultados referentes à análise quarto da fração direita e caixa de escadas.

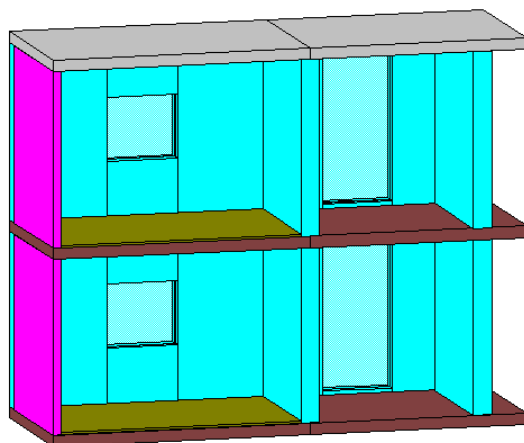


Figura 41 - Esquema do quarto da fração direita com a caixa de escadas

Tabela 14 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A1)

Situação atual				Solução 1		Solução 2	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	46	KO	46	KO	46	KO
Escadas inferior	Quarto inferior	46	KO	46	KO	46	KO
Exterior	Quarto superior	40	OK	40	OK	42	OK
Exterior	Quarto inferior	40	OK	40	OK	42	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	63	KO	63	KO	63	KO

Tabela 15 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A1)

Solução 3				Solução 4		Solução 5	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	50	OK	46	KO	45	KO
Escadas inferior	Quarto inferior	50	OK	46	KO	45	KO
Exterior	Quarto superior	41	OK	40	OK	40	OK
Exterior	Quarto inferior	41	OK	40	OK	40	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	59	OK	63	KO	60	OK

Tal como se pode verificar na Tabela 5, segundo o RRAE, e analisando a Tabela 14 e Tabela 15, a única solução que cumpre os requisitos é a solução 3. Tanto os sons de condução aérea como os sons de percussão são cumpridos em todos os parâmetros, tornando esta a única solução viável.

Na Figura 42 e nas Tabelas 16 e 17 encontram-se os resultados referentes à análise cozinha da fração direita e quarto da fração esquerda

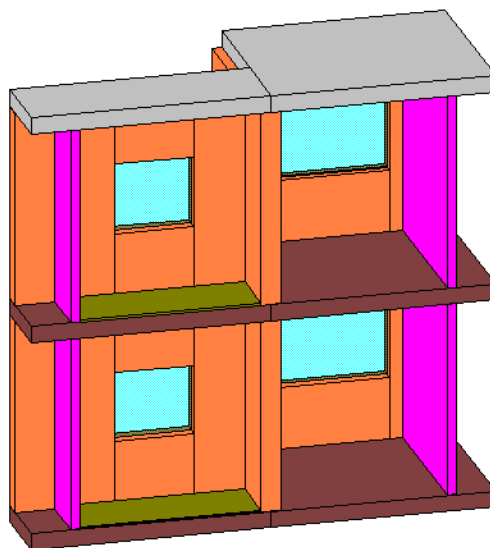


Figura 42 – Esquema da cozinha da fração direita e quarto da fração esquerda

Tabela 16 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A2)

Situação atual				Solução 1		Solução 2	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Cozinha superior	Quarto superior	46	KO	46	KO	46	KO
Cozinha inferior	Quarto inferior	46	KO	46	KO	46	KO
Exterior	Quarto superior	40	OK	40	OK	42	OK
Exterior	Quarto inferior	40	OK	40	OK	42	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	63	KO	63	KO	63	KO

Tabela 17 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A2)

Solução 3				Solução 4		Solução 5	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Cozinha superior	Quarto superior	50	OK	46	KO	45	KO
Cozinha inferior	Quarto inferior	50	OK	46	KO	44	KO
Exterior	Quarto superior	41	OK	40	OK	40	OK
Exterior	Quarto inferior	41	OK	40	OK	40	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	59	OK	63	KO	60	OK

É novamente a solução 3 que cumpre os requisitos a sons de condução aérea e a sons de percussão conforme o RRAE, que se encontra resumido na Tabela 5, sendo que a solução 5 apenas não cumpre os requisitos a sons aéreos entre a cozinha e o quarto.

Na Figura 43 e nas Tabelas 18 e 19 encontram-se os resultados referentes à análise quarto da fração esquerda e caixa de escadas

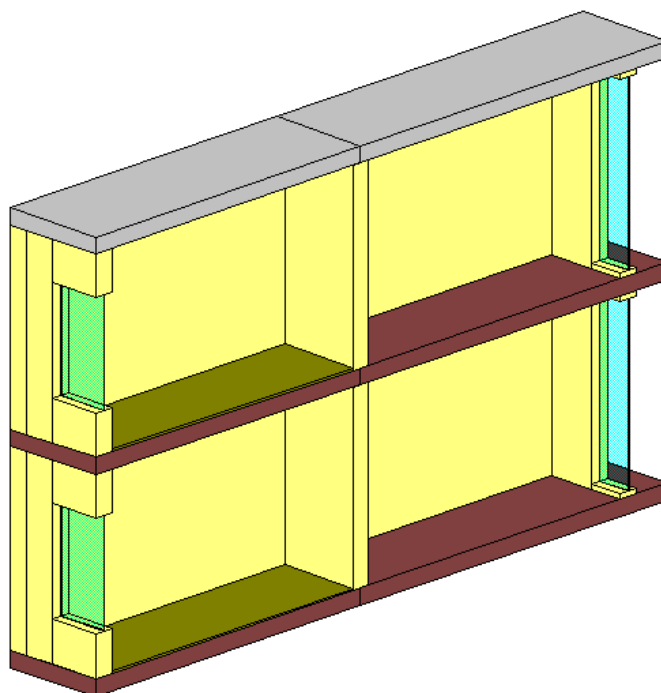


Figura 43 - Esquema do quarto da fração esquerda com a caixa de escadas

Tabela 18 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (início) (A3)

Situação atual				Solução 1		Solução 2	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação	D _{nT,w} (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	47	KO	46	KO	46	KO
Escadas inferior	Quarto inferior	46	KO	46	KO	46	KO
Exterior	Quarto superior	40	OK	40	OK	42	OK
Exterior	Quarto inferior	40	OK	40	OK	42	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação	L' _{nT,w} (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	62	KO	62	KO	62	KO

Tabela 19 - Índice de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão (conclusão) (A3)

Solução 3				Solução 4		Solução 5	
Sons de condução aérea							
Emissor	Recetor	DnT,w (dB)	Verificação	DnT,w (dB)	Verificação	DnT,w (dB)	Verificação
Escadas superior	Quarto superior	51	OK	46	KO	47	KO
Escadas inferior	Quarto inferior	51	OK	46	KO	46	KO
Exterior	Quarto superior	41	OK	40	OK	40	OK
Exterior	Quarto inferior	41	OK	40	OK	40	OK
Sons de percussão							
Emissor	Recetor	L'nT,w (dB)	Verificação	L'nT,w (dB)	Verificação	L'nT,w (dB)	Verificação
Quarto superior	Quarto inferior	59	OK	62	KO	60	OK

Nesta análise, os resultados são semelhantes às restantes, para cada solução. A solução 3 continua a cumprir todos os requisitos do RRAE.

Resumindo os resultados:

- Tanto sem reabilitação como em qualquer uma das soluções, são cumpridos os requisitos acústicos a sons aéreos, entre o exterior e o quarto ou zona de estar;
- Apenas a solução 3 consegue cumprir os requisitos de isolamento a sons aéreos entre um compartimento de um fogo e uma zona de estar ou quarto de outro fogo;
- Os sons de percussão apenas são verificados na solução 3 e na solução 5. Isto deve-se à introdução da membrana acústica resiliente.

4.4. Análise económica

Nesta secção é apresentada a análise económica efetuada para as intervenções de reabilitação analisadas.

A Tabela 20 apresenta o custo de implementação por cada m² e o custo total para cada solução de reabilitação, do edifício em estudo.

Tabela 20 - Custo de implementação das soluções de reabilitação no edifício de habitação social

	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5
Área a reabilitar (m2)	2974,78	2974,78 + 67,424 (envidraçados)	2974,78 + 649,476 (pavimentos)	2029,613	2974,78 + 649,476 (pavimentos)
Custo (€/m2)	71,49	71,49 + 38,79 (envidraçados)	68,65 + 7,83 (MAD)	66,94	66,25 + 1,73 (polietileno)
Custo total (€)	212667	215282,3634	209304	135862,3	198202,7

A solução 4 é a solução com um custo mais baixo pois tem menor área a reabilitar sendo apenas reabilitados os elementos de fachada. A solução 2 é a proposta de reabilitação com um custo mais elevado comparativamente às restantes pois além da introdução do isolamento nos elementos horizontais, nas paredes divisórias entre frações e nas paredes exteriores de fachada também foram alterados todos os envidraçados existentes.

Consoante a previsão do aumento do preço da energia, foi calculado o custo associado aos consumos energéticos do edifício de habitação social ao longo do tempo e sua poupança energética. Foi admitido um horizonte temporal de 30 anos para a duração do edifício reabilitado. A Tabela 21, mostra a poupança prevista em termos económicos da implementação de cada solução de reabilitação.

Tabela 21 - Custo do consumo energético com horizonte temporal de 30 anos

	Energia (kWh/ano)	Consumo energético (€/ano)			Poupança energética (€)
		Ano 2017	Ano 2047	Total (€ em 30 anos)	
Situação atual	331007,0671	53606,59452	112443,4547	2465917,861	-
Solução 1	242392,5617	39255,47536	82341,01241	1739829,711	726088,1506
Solução 2	230007,0543	37249,64245	78133,64233	1586801,895	879115,966
Solução 3	246485,8841	39918,38894	83731,51844	1630047,725	835870,1364
Solução 4	246675,8559	39949,15486	83796,05204	1559046,963	906870,8982
Solução 5	239484,5329	38784,5201	81353,15193	1441691,85	1024226,011

A medida de intervenção que apresenta maior consumo de energia é a solução 4. A solução com maior poupança energética, para um período de 30 anos, é a solução 5, sendo a solução 2 a solução de intervenção que menos consome energia. Esta última solução é a medida de intervenção que apresenta um custo de investimento elevado, comparativamente às restantes.

Relativamente ao período de retorno do investimento de cada solução, todas as medidas propostas mostram um período de investimento em menos de 30 anos como se pode verificar pela Tabela 22.

A solução que tem um retorno mais rápido do custo de investimento é a medida de intervenção 4. No entanto é esta solução que tem maior consumo. A solução 1 é a que apresenta um período de retorno maior.

Tabela 22 - Retorno do investimento

	Custo de investimento (€)	Poupança energética (€)	Retorno do investimento (anos)
solução 1	212666,99	726088,1506	9
solução 2	215282,36	879115,966	7
solução 3	209304,01	835870,1364	8
solução 4	135862,26	906870,8982	4
solução 5	198202,74	1024226,011	6

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado, no que diz respeito aos principais resultados sobre o desempenho térmico e acústico de um edifício de habitação social. Adicionalmente, apresentam-se as principais ideias relativamente a trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

O presente documento teve como objetivo o estudo do desempenho térmico e acústico de um edifício de habitação social inserido num bairro social. Este estudo teve como foco primordial a análise do desempenho energético e acústico pela implementação de diversas soluções de reabilitação. Estas medidas foram essencialmente centradas no tipo de anomalias que os ocupantes mais referiram, sendo a falta de conforto térmico e a ausência de qualidade acústica.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica que possibilitou aprofundar o conhecimento sobre estas duas complexas áreas, desempenho térmico e acústico, no estado presente do parque habitacional português, nomeadamente na reabilitação de habitações sociais. Com este conhecimento foi possível conhecer melhor os aspetos a considerar para melhorar o comportamento térmico e acústico do edifício em estudo.

Todo este estudo permitiu conhecer as necessidades que os ocupantes mais precisam, e também verificar que o consumo de energia em muitos casos, como este caso, pode ser elevado. Com isto, este estudo ajudou a promover a reabilitação dos edifícios, pois como se pode verificar, pode resultar em melhorias nos consumos energéticos como também no conforto dos ocupantes e melhor comportamento acústico.

É de salientar que tanto o conforto acústico como o conforto térmico do edifício atualmente, não são os melhores e que os requisitos acústicos não são cumpridos.

Após analisar as medidas de intervenção é possível reabilitar o edifício a fim de cumprir os requisitos acústicos, mesmo com as soluções que cumprem ou por sugestões dadas para contornar esta ausência de conforto acústico.

Relativamente ao desempenho térmico, todas as soluções visam melhorar este aspeto embora com um custo de investimento elevado, todavia com o tempo de retorno ligeiramente curto face às poupanças energéticas num horizonte temporal de 30 anos. Comparativamente com o edifício atualmente, estes consumos energéticos, estimam uma redução entre 20% a 30% com a aplicabilidade das medidas de intervenção. A solução que apresenta uma maior redução é a solução 2 em que é introduzido 5 cm de XPS nas paredes de fachada, paredes entre frações e elementos horizontais, e alteração dos envidraçados que passaram de um vidro simples de 6 mm para vidro duplo de 3mm + 3 cm com caixa de ar de 6 mm.

Quanto às necessidades de aquecimento é a solução 2 que apresenta maior diminuição, sendo a solução 5 a que apresenta a segunda maior redução como já explicado anteriormente.

Face às necessidades de arrefecimento, todas as soluções mostram um aumento, pois devido à ausência de isolamento no edifício atualmente isto já era de prever. A solução que apresenta um melhor comportamento das necessidades de arrefecimento, ou seja, aquela medida de intervenção que apresenta um menor aumento é a solução 4 e de seguida é a solução 3. No entanto, o problema está na estação de verão e como tal, para melhorar as necessidades de arrefecimento, ou seja, reduzir estas necessidades, é preciso melhorar as condições de ventilação noturna e consequentemente reduzir-se-á as cargas térmicas.

Relativamente ao conforto acústico é a solução 3 com a membrana acústica danosa (MAD) que permite cumprir todos os requisitos do RRAE, seja a sons aéreos provenientes do exterior, a sons de condução aérea entre um fogo e zona de estar/quarto ou a sons de percussão. Todas as soluções de reabilitação propostas conduzem ao cumprimento dos requisitos acústicos a sons de condução aérea, entre o exterior e o quarto ou zona de estar. Apenas duas soluções cumprem os requisitos a sons de percussão, sendo a solução 3 com a MAD como já referida anteriormente, e a solução 5 com a membrana resiliente de polietileno.

Relativamente ao custo de investimento, é a solução 4 a solução de reabilitação que tem um custo mais baixo pois tem menor área a reabilitar sendo apenas reabilitados os elementos de fachada. A solução 2 é a proposta de reabilitação com um custo mais elevado comparativamente às restantes pois além da introdução do isolamento nos elementos horizontais, nas paredes divisórias entre frações e nas paredes exteriores também foram alterados todos os envidraçados existentes. A solução 5 é a proposta de intervenção com maior poupança energética, para um período de 30 anos pois é esta medida de reabilitação que apresenta um consumo menor em comparação com as restantes propostas. A medida de intervenção que mais consome energia é a solução 4.

5.2. Trabalhos Futuros

Neste subcapítulo são apresentadas propostas de trabalhos futuros. Assim sendo, dentro deste âmbito da reabilitação térmica e acústica, propõe-se os seguintes trabalhos futuros:

- Estudo de outros edifícios inseridos noutros diferentes bairros sociais com orientações diferentes localizados em zona distintas;
- Após o estudo de alguns casos deste género seria interessante fazer um balanço destes estudos, fazendo assim uma comparação entre os diferentes casos de estudo;
- Implementar outras soluções de reabilitação;
- Implementar coletores solares.

BIBLIOGRAFIA

SILVA, Rui - Avaliação acústica de edifício habitacionais: Análise dos coeficientes de ponderação associados ao índice de desempenho acústico de habitações. Lisboa, 2014. Dissertação de mestrado

INE - O parque habitacional e sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.

APPLETON, João – A sustentabilidade nos projetos de reabilitação de edifícios. Ordem dos Engenheiros, 2011.

INE - Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2011

DIAS, Gabriela - Eficiência energética: Compromisso para o crescimento verde. Porto, 2014

80TH EUROCONSTRUCT CONFERENCE, Budapest, 2015 – Press Release. Disponível em: <http://www.euroconstruct.org/> [Acedido em Novembro de 2017]

M. Amaral - “Tese de Doutoramento - "Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação",” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, 2008.

LNEC - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

DGEG – Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia, 2004. ISBN 972-8268-33-5.

IMPERALUM - Soluções a sons aéreos e de percussão. Disponível em: <http://www.imperialum.com/?solucoes=sons-aereos-e-de-percussao/> [Acedido em Novembro de 2017]

84th EUROCONSTRUCT CONFERENCE, Munich, 2017 – Press Release. Disponível em: <http://www.euroconstruct.org/> [Acedido em Janeiro de 2018]

HOMIFY - Materiais isolantes para proteger a sua casa. Disponível em: https://www.homify.pt/livros_de_ideias/455189/7-materiais-isolantes-para-proteger-a-sua-casa [Acedido em Janeiro de 2018]

FEPICOP - Setor da construção e ritmo de crescimento. Disponível em: https://www.rtp.pt/noticias/economia/setor-da-construcao-deve-abrandar-ritmo-de-crescimento-para-45-em-2018-fepicop_n1048593 [Acedido em Janeiro de 2018]

Revista edifícios e energia - Pobreza energética cada vez mais perto das nossas casas. Disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/pobreza-energetica-cada-vez-mais-perto-das-nossas-casas> [Acedido em Dezembro de 2017]

SIMÕES, Sofia. - O mapeamento da pobreza energética em Portugal. Disponível em: <http://www.fct.unl.pt/noticias/2016/02/investigadora-sofia-simoes-fct-nova-mapeia-pobreza-energetica-em-portugal> [Acedido em Janeiro de 2018]

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, 2008.

Decreto-Lei n.º79/2006 de 4 de abril. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, 2006.

ADENE – Agência para a energia - Guia da eficiência energética. Disponível em: http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf [Acedido em Dezembro de 2017]

HOMEM, Cátia - Das fontes de energia ao utilizador. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/catiah/das-fontes-de-energia-ao-utilizador-1> [Acedido em Janeiro de 2018]

C. F. Reinhart, Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design, Ottawa: National Research Council Canada, 2006.

Decreto-Lei n.º58/2013 de 20 de agosto, 2013.

Revista edifícios e energia, Nova estratégia espanhola reforça ação nos edifícios. 2015. Disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/espanha> [Acedido em Dezembro de 2017]

INE - Segmento da reabilitação; evolução e tendências, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2014

FRAGOSO, Rui. - Eficiência energética nos edifícios, Lisboa, 2015

Agência Lusa - Edifícios muito degradados diminuiram 36% numa década. Disponível em: <http://www.noticiasaoiminuto.com/pais/62983/edif%C3%ADcios-muito-degradados-diminu%C3%ADram-36-numa-d%C3%A9cada> [Acedido em Dezembro de 2017]

RAMOS, Ana – Guia termos de referência de isolamento acústico na reabilitação de edifícios. Porto, outubro de 2014. Dissertação de Mestrado.

Governo de Portugal - Direção geral do livro, dos arquivos e das bibliotecas. Disponível em: http://rcbp.dglb.pt/pt/ServProf/Documentacao/Documents/Doc07_Condicionamento_Acustico.pdf [Acedido em Dezembro de 2017]

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, 2006.

Decreto-Lei n.º 960/2008, de 9 de junho – “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios” – do Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do território e do desenvolvimento regional. Diário da República: I Série, nº 110.

A. Papadopoulos, “State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments,” em *Energy and Buildings*, 2005.

Franchi, M et al, Towards Healthy Air in Dwellings in Europe - The THADE Report, Brussels, 2004.

ASHRAE 55:2010, Thermal Environmental Conditions for Human, 2010.

“DesignBuilder,” Natural Works, [Online]. Available: <http://www.naturalworks.com/db/>. [Acedido em Fevereiro 2017].

Decreto-Lei n.º78/2006 de 4 de abril. Aprova o Sistema de Certificação Energética, 2002.
Regulamento Geral do Ruído, 2007.

M. Almeida, L. Bragança, P. Silva, S. Silva, R. Mateus, J. Barbosa e C. Araújo, “Enquadramento Energético do Sector Residencial Português,” Universidade do Minho, 2012.

“Edifícios e Energia,” *Pobreza energética cada vez mais perto das nossas casas*, Março/Abril 2013.

ANEXOS

ANEXO I – INQUÉRITOS

Fração: _____

1 – Há quanto tempo mora nesta habitação?

2 - Já efetuou algum tipo de reparações?

2.1 – Se sim,

2.1.1 – Quando?

2.1.2 - Motivo:

2.1.3 - Tipo de reparação:

2.1.4 - Houve melhorias?

3 – No presente verifica algum tipo de anomalia na sua habitação em termos térmicos e acústicos? (perdas de calor, ganhos excessivos de calor, ruído proveniente de outras frações, da zona comum do edifício e do exterior).

3.1 - Se sim,

3.1.1 - Quais são?

3.1.2 - Onde se localizam?

4 – Estaria disposto a efetuar algum tipo de restauro na sua habitação? (teto falso, alteração do pavimento, caixilharia, revestimento...)

4.1 – Se sim,

4.1.1 – Quais?

4.1.2 – Motivo:

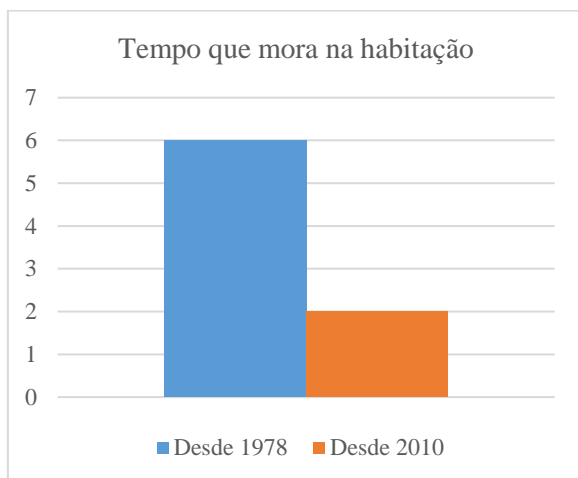


Figura 45 - Ano em que o habitante reside na fração

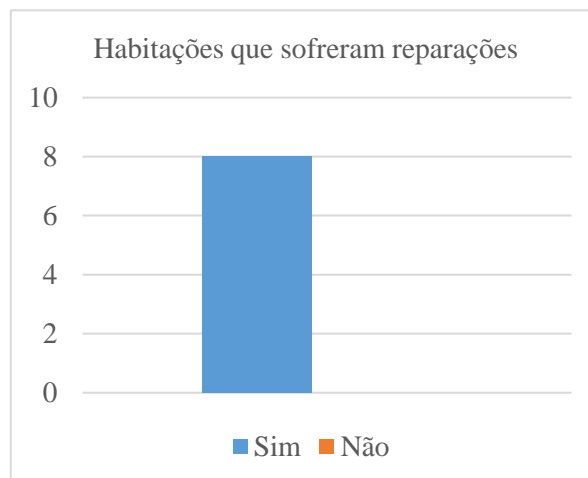


Figura 44 - Número de habitações que já sofreram reparações

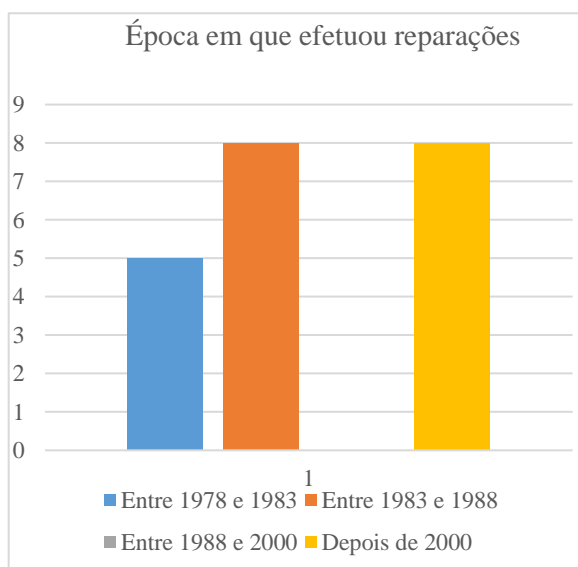


Figura 46 - Época em que se efetuou reparações



Figura 47 - Tipos de reparações efetuadas

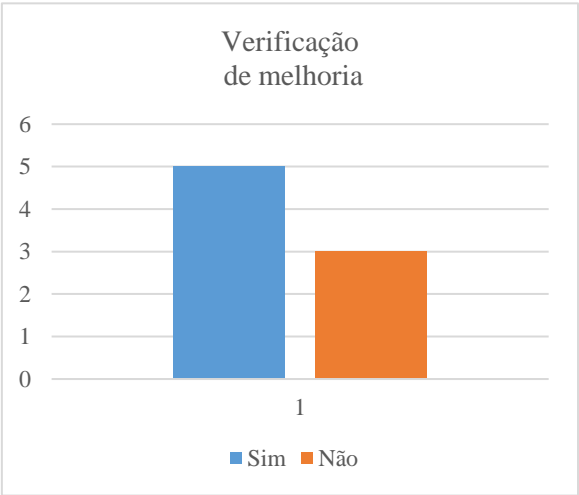


Figura 50 - Verificação de melhoria

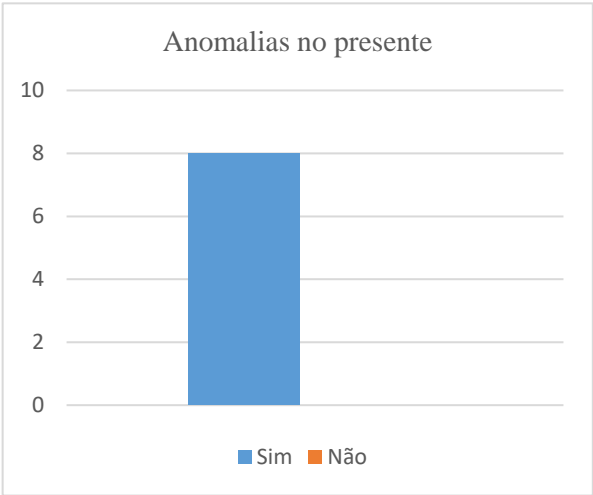


Figura 51 - Anomalias no presente

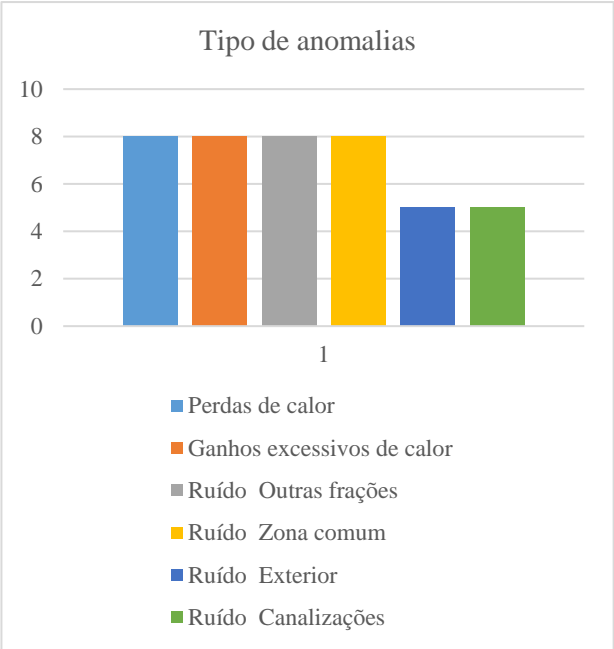


Figura 49 - Tipos de anomalias

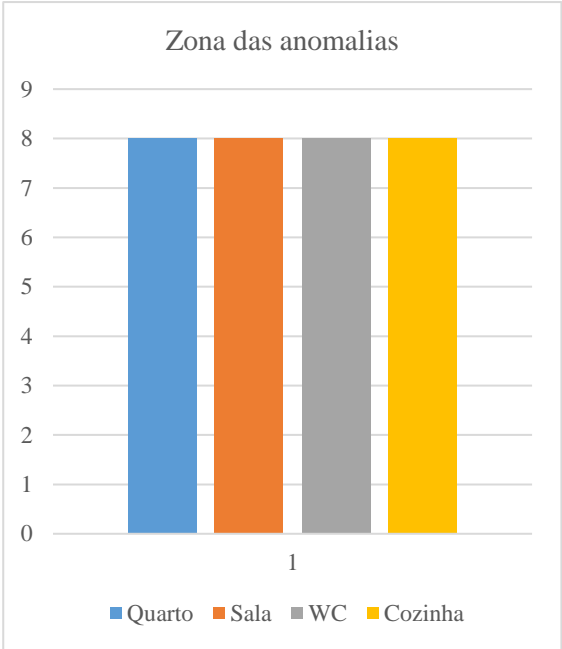


Figura 48 - Zonas das anomalias

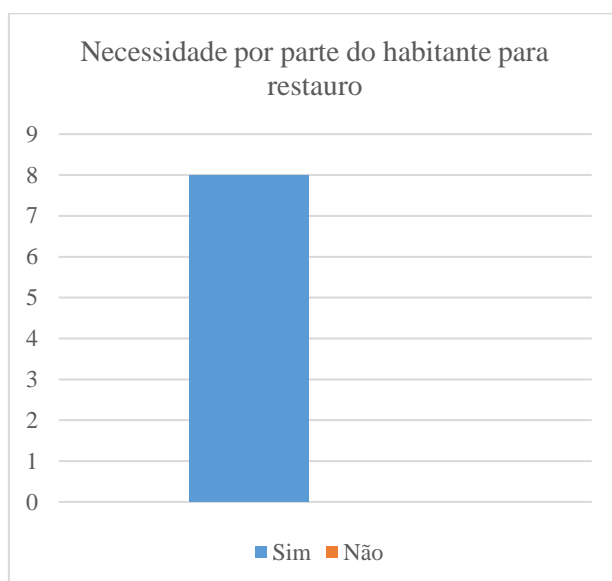


Figura 53 - Necessidade por parte do habitante para restauro

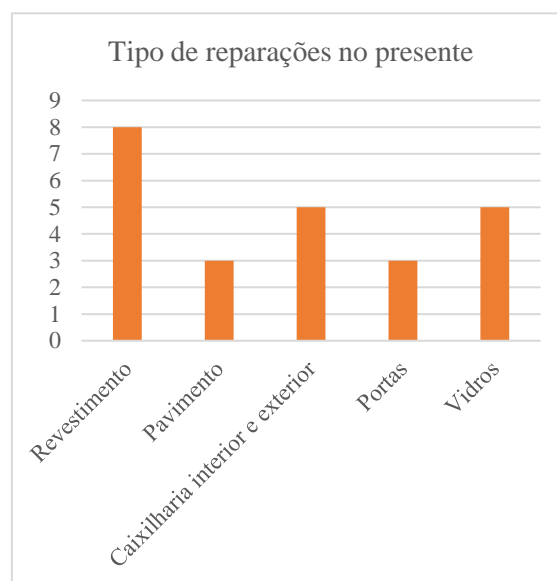


Figura 52 - Tipos de reparações no presente

ANEXO II – LEI DA MASSA

Metodologia Simplificada

Para um índice de isolamento sonoro de um elemento construtivo de um compartimento, para uma certa frequência, depende essencialmente da massa do elemento. Assim, quanto maior a massa do elemento, maior será o índice de atenuação sonora, R , e menor será o índice de transmissão sonora. Então, geralmente, um elemento pesado, terá um índice de atenuação sonora maior que um elemento leve. Esta relação designa-se por Lei da massa teórica, em que o acréscimo do índice de redução sonora de 6dB/oitava, por cada duplicação da massa ou por duplicação da frequência do som e a energia associada às bandas de baixa frequência é menos acentuada que a associada às frequências altas. Em termos práticos, foi verificado que na zona controlada pela lei da massa, o acréscimo médio de isolamento é comumente inferior aos 6dB/oitava, sendo cerca de 4dB/oitava. Assim, partindo da análise experimental, admitiu-se, segundo Meisser, um índice de isolamento sonoro a sons aéreos de 40dB, para uma frequência de 500 Hz e para uma massa de 100kg/m^2 .

Considera igualmente uma lei experimental que se traduz num acréscimo de 4 dB por duplicação da massa como apresenta a Tabela 23.

Tabela 23 - Lei experimental da massa, com valores obtidos segundo Meisser

Massa para uma frequência de 500 Hz		
	25 kg/m ²	32 dB
-4 dB ↑	50 kg/m ²	36 dB
	100 kg/m²	40 dB
+4 dB ↓	200 kg/m ²	44 dB
	400 kg/m ²	48 dB

Segundo Mateus e Tadeu (2005), para os dados admitidos segundo Meisser, a lei experimental da massa pode ser expressa pela equação 1 e pela equação 2 para massas inferiores e maiores ou iguais a 200 kg/m^2 respetivamente.

$$R_{(500 \text{ Hz})} = 13.3 \text{ Log}(m) + 13.4 \text{ dB} \quad (1)$$

$$R_{(500 \text{ Hz})} = 13.3 \text{ Log}(m) + 13.4 \text{ dB} \quad (2)$$

Para se efetuar o traçado em frequência, é considerada uma lei da frequência experimental igualmente de 4dB, (Meisser). Posteriormente ajusta-se a curva traçada ao modelo analítico, considerando a lei da frequência teórica, 6dB/oit, e as quebras nas frequências próprias de vibração transversal por flexão, pelo efeito de coincidência, pela frequência de ressonância do conjunto e pelas quebras nas lâminas de ar das divisórias múltiplas. Os valores para a marcação inicial da curva de frequências, definida segundo Meisser, considerando uma massa de 100kg/m², apresentam-se na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores a considerar na curva para paredes com massa de 100 kg/m²

	Parede simples		Parede dupla		Parede tripla	
125 Hz	- 4dB ↑	32 dB	- 6dB ↑	28 dB	- 10dB ↑	20 dB
250 Hz		36 dB		34 dB		30 dB
500 Hz		40 dB		40 dB		40 dB
1000 Hz	+ 4dB ↓	44 dB	+ 6dB ↓	46 dB	+ 10dB ↓	50 dB
2000 Hz		48 dB		52 dB		60 dB

Para elementos duplos, em que existe um maior número de frequências próprias em análise, a lei experimental de 6 dB/oitava é menos rigorosa, no que toca à previsão do índice de isolamento sonoro, que a lei aplicada a elementos simples. No entanto, esta lei normalmente só é válida para frequências de som superiores à frequência de ressonância do conjunto massas/caixa-de-ar, caso contrário os elementos de separação duplos não são vantajosos, em termos acústicos, comparativamente aos elementos simples com igual massa total.

Segundo análise experimental, um elemento de separação duplo, normalmente apresenta um isolamento acústico maior que um elemento de separação simples com igual massa total. Esta diferença apresenta-se na Tabela 25 e requer que a lei experimental da massa seja corrigida com a diferença respetiva. Então, depois de aplicadas as equações 1 e 2, terá de ser acrescentado o valor da diferença (Dif).

Após o cálculo do valor de R_{500} através das equações 1 e 2, procedesse à análise da Tabela 25 para se saber qual será o valor de acréscimo do isolamento pela existência de caixas-de-ar (Dif).

Tabela 25 - Valores de acréscimo do isolamento devido à existência de caixas de ar (Dif) (Tese de Doutorado de Paulo Mendonça)

Panos desligados não muito diferentes	
Características da caixa-de-ar	
Caixa de ar de 1 cm e panos e massas dif	2 dB
Caixa de ar de 2 a 4 cm	3 a 4 dB
Caixa de ar de 5 a 10 cm	5 dB
A – Sub-total (acrécimo devido à existência da caixa de ar)	
Material absorvente na caixa de ar	
1 cm de material absorvente	1 dB
2 a 4 cm de material absorvente	2 dB
5 a 10 cm de material absorvente	3 a 4 dB
B – Sub-total (devido à existência de material absorvente na caixa de ar)	
Correção pelo facto dos panos serem muito diferentes (como paredes mistas, tijolo + placas de gesso cartonado, ou pavimentos com tetos falsos)	1 a 4 dB
A + B = 1 a 4	2 dB
A + B = 5 a 6	3 dB
A + B = 7 a 9	4 dB
C – Sub-total (devido ao facto dos panos serem muito diferentes)	
	Dif (dB)
Dif = (A + B - C)	

Seguidamente procede-se às correções, sejam pelos modos próprios de vibração, pelo efeito de coincidência, pela frequência de ressonância do conjunto ou pela quebra das lâminas de ar das divisórias múltiplas.

a) Pelos modos próprios de vibração por flexão transversal do painel

Nesta correção só são considerados elementos de placas finas, como por exemplo as paredes divisórias, não afetando significativamente o isolamento acústico desse elemento. Assim procede-se ao cálculo de f_{nm} para quatro casos distintos como se pode verificar na Figura 54, recorrendo às equações 3 e 4.

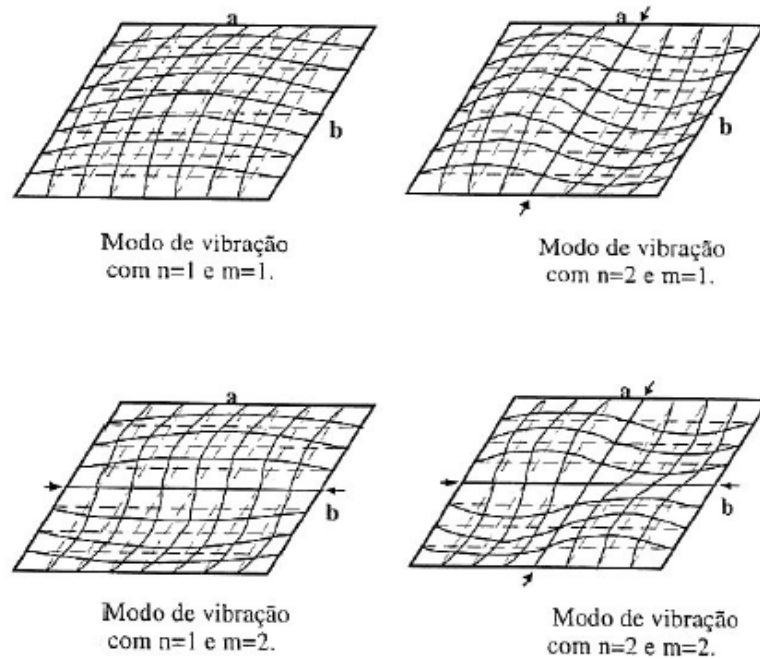


Figura 54 - Modos próprios de vibração transversal por flexão com influência no isolamento acústico

$$f_{nm} = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} \right) \times \sqrt{\frac{D}{\rho \times h}} \quad (3)$$

$$D = \frac{h^3 E}{12 \times (1 - \nu^2)} \quad (4)$$

Em que:

a, b - comprimento e largura da placa;

n,m - número de modos de vibração;

ρ - massa por unidade de volume do material que constitui a placa (Kg/m^3);

h - espessura da placa;

D - rigidez da placa (N.m)

E - módulo de Young (N/m^2) ou modelo de elasticidade;

ν - coeficiente de Poisson.

b) Pelo efeito de coincidência

O efeito de coincidência ocorre quando é atingida a frequência mais baixa, denominando-se de frequência crítica, não sendo apenas referente a um comportamento particular nesta frequência, mas sim a uma zona de influência mais ampliada (cerca de 2 a 3 oitavas). Este efeito acontece quando a configuração de deformação de um painel por causa da propagação de ondas de flexão em regime livre calha com a distribuição dos nodos e ventres instituída no mesmo painel por

incidência de certa onda sonora provocando assim uma perda de isolamento sonoro na frequência em questão ou na banda de frequências onde esta está inserida, tal como mostra a Figura 55.

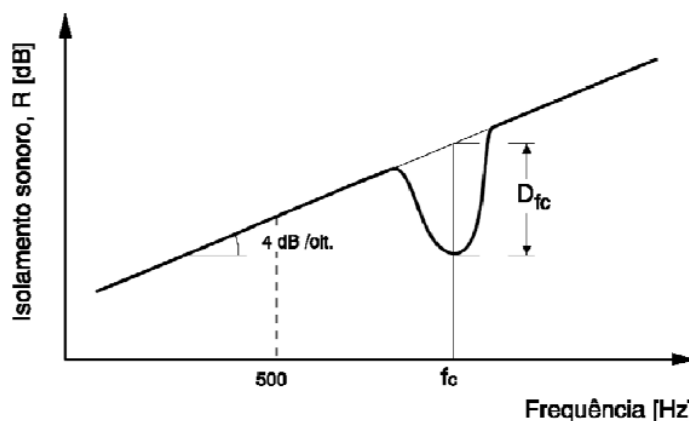


Figura 55 - Perda de isolamento sonoro por efeito de coincidência

Este fenómeno exhibe o seu efeito mais desfavorável, na redução do isolamento sonoro, para a frequência crítica, sendo que esta pode ser calculada através da equação 5 ou 6, para elementos de compartição homogêneos.

$$f_c = \frac{c^2}{1,8138 \times h} \times \sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad (5)$$

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 \times h} \times \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad (6)$$

Em que:

- c: velocidade do som (340m/s);
- h: espessura do elemento;
- ρ : densidade do material (kg/m^3);
- E: Módulo de elasticidade (N/m^2);
- ν : coeficiente de Poison.

Quando os elementos de compartição são dissemelhantes existe uma banda de frequências críticas e não apenas um valor de frequência crítica como sucede quando estes são iguais. Essas frequências, frequência crítica de cada painel, podem ser calculadas através dos valores apresentados na Tabela 26 e, por conseguinte, pela equação 7.

Tabela 26 - Frequências críticas e quebra de isolamento por efeito de coincidência de diversos materiais para paredes de 1 cm de espessura

Material	Massa volúmica (kg/m ³)	Quebra de isolamento por efeito de coincidência (dB)	Frequência crítica (Hz) para uma espessura de 1 cm
Aço	7800	10	1000
Aglomerado fibras de madeira/cimento	1350	8	6000
Alumínio	2700	10	1300
Betão de inertes correntes	2300	8	1800
Betão de escórias	1400	8	2000
Blocos de betão magro	1000	8	2100
Betão de argila expandida	1500	5 a 6	1900
Borracha	1000	4	85000
Gesso	1000	7	4000
Chumbo	10600	5	8000
Cortiça	250	4	18000
Madeira	600	6	6000 a 18000
Poliestireno expandido	14	5	14000
Tijolo furado	1429	9	2000
Tijolo maciço	2000 a 2500	9	2500 a 5000
Vidro	2500	10	1200

$$f_c = \frac{\text{frequência crítica para uma espessura de 1 cm de material}}{\text{espessura do material em cm}} \quad (7)$$

Caso a frequência crítica se encontrar na zona de sensibilidade auditiva humana a quebra de isolamento será bastante acentuada. A gama referida nas normas CEN é entre 100 e 3150 Hz.

c) Frequência de ressonância do conjunto

Ressonância é o fenómeno de quando existe excitação do sistema de fachada (com caixa de ar), com um tom de frequência igual a um dos panos, é gerada uma grande acumulação de energia vibratória, amplificando assim a amplitude de vibração geral.

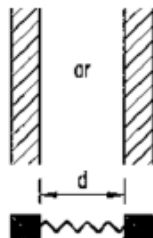


Figura 56 - Modelo de um sistema com dois panos e caixa de ar

Dependo da posição de material absorvente sonoro no interior da cavidade existente entre os dois panos, vai alterar o posicionamento da frequência fundamental deste sistema. No caso de

paredes duplas em alvenaria convencionais, a frequência de ressonância normalmente encontra-se fora da zona audível sendo assim desprezada. No entanto para paredes divisórias leves ou de envidraçados correntes, duplos, por causa das baixas massas de ambos os painéis e às pequenas dimensões da cai de ar, esta frequência já se situa dentro da gama audível, 100Hz a 3000 Hz, logo não pode ser desprezada e ocorrem quebras da ordem dos 6 a 8 dB. A frequência de ressonância para panos duplos é calculada recorrendo à equação 8 ou 9 (tendo em conta um campo sonoro difuso e uma velocidade de propagação de 1,4 vezes a velocidade do som) e para panos triplos recorrendo à equação 10.

$$f_{ress} = \frac{c}{2\pi} \times \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (8)$$

$$f_{ress} = 84 \times \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (9)$$

$$(m_1 \times m_2 \times m_3) \times (f_{ress}^2)^2 - [K_1 m_3 \times (m_1 + m_2) + K_2 m_1 \times (m_2 + m_3)] \times f_{ress}^2 + [K_1 K_2 \times (m_1 + m_2 + m_3)] = 0 \quad (10)$$

Em que:

c – velocidade de propagação do som em m/s (340 m/s);

m_i – massa superficial do painel i (kg/m^2);

ρ : massa volúmica do ar ao nível do mar em kg/m^3 ($\rho_{\text{ar}} = 1,22 \text{ kg/m}^3$);

d – espessura da lâmina de ar em m (caixa-de-ar);

$$k_1 = \frac{\rho \times c^2}{d_1}$$

$$k_2 = \frac{\rho \times c^2}{d_2}$$

$$d_1 + d_2 = d$$

Se for para ter em conta um campo sonoro difuso e uma velocidade de propagação de 1,4 vezes a velocidade do som, tal como na equação 9, as frequências de ressonância obtidas na equação 8 deverão ser multiplicadas por 1,4.

d) Quebra nas lâminas de ar das divisórias múltiplas

Esta correção prende-se na ocorrência de ressonâncias de cavidade, isto é, no estabelecimento de ondas estacionárias na caixa-de-ar entre os dois panos que definem o elemento, portanto para os elementos duplos e triplos, ainda acresce mais quebras devido às reflexões múltiplas no interior da(s) caixa(s)-de-ar, em que atingem os valores mais altos na primeira frequência. Estas ressonâncias correspondem às frequências f_n e ocorrem, sempre que a distância existente entre os dois panos, seja um múltiplo inteiro de metade do comprimento de onda (λ): $n \times \frac{\lambda}{2}$. Assim, para frequências de som iguais a $\frac{n \times c}{(2 \times d)}$, são criadas interferências entre as ondas refletidas e incidentes no segundo pano (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) fazendo assim com que a pressão sonora aumente dentro da caixa-de-ar, prejudicando o desempenho requerido, o qual se designa por ressonância da caixa-de-ar (equação 11).

$$f_n = n \times \frac{c}{2 \times d} \quad (11)$$

Em que:

- c – velocidade de propagação do som no ar ao nível do mar (340 m/s);
- d – espessura da caixa-de-ar (m).

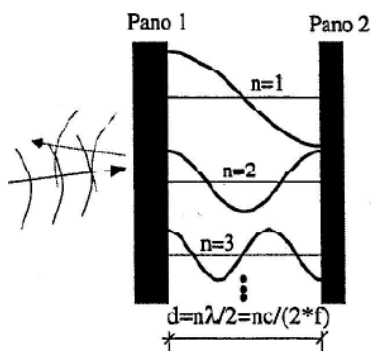


Figura 57 - Frequências de ressonância numa caixa-de-ar

A existência de um isolante na lâmina de ar melhora as deficiências na zona da frequência de ressonância em média entre 2 a 4 dB. Como nos envidraçados não há a possibilidade de inserir um isolamento devido à opacidade deste tipo de material, as quebras podem atingir valores máximos de 3 a 4 dB, no entanto há a possibilidade de preencher a caixa-de-ar com um gel transparente anulando assim este efeito.

Traçado da curva de estimativa de isolamento sonoro

A representação gráfica é efetuada com a seguinte escala:

- Eixo das abcissas: frequência em bandas de 1/3 de oitava com distância entre elas de 5 mm, em escala logarítmica;
- Eixo das ordenadas: índice de redução sonora em que 10 dB correspondem a 20 mm, em escala linear.

O traçado da curva é efetuado segundo os seguintes pontos:

1. Calcular o índice de atenuação sonora, dado pela lei experimental da massa, para uma frequência de 500 Hz (R_{500}) e marcar no gráfico;
 - Para elementos duplos ou triplos ainda se acrescenta o valor de acréscimo de isolamento pela existência de caixa(s)-de-ar – Dif - conforme a Tabela 25;
2. Traçar a reta de declive de 4 dB (elementos simples) ou 6 dB (elementos duplos) ou 10 dB (elementos triplos) por oitava correspondente à curva da lei da frequência;
3. Para elementos duplos e triplos considerar os modos próprios de vibração por flexão transversal do painel, caso os elementos que constituem as paredes, lajes ou envidraçados e se este se encontrar simplesmente apoiado nos quatro lados, forem de espessura reduzida. Quanto aos elementos simples este ponto não é considerado;
4. Para elementos duplos e triplos determinar a frequência de ressonância do conjunto massa/caixa-de-ar e marcar a respetiva quebra se esta se encontrar dentro da gama de frequências audíveis, no entanto para soluções construtivas pesadas esta mesma frequência, geralmente é inferior a 100 Hz, logo é desprezada.

Quanto aos envidraçados duplos correntes, com área superior a 10 m² e em que são constituídos por painéis com baixas massas e pequenas caixas-de-ar, a frequência será superior a 100 Hz que originará uma quebra de 6 a 8 dB.

Quanto aos elementos simples este ponto não é considerado;

5. Representar no gráfico as frequências críticas dos panos de parede, laje ou envidraçado tendo em conta as respetivas perdas de isolamento de cada material – quebras - conforme a Tabela 26;
6. A partir dos pontos correspondentes às quebras de isolamento na frequência crítica e nas demais frequências, caso estas últimas sejam consideradas (frequência de

ressonância do conjunto e frequência de ressonância da caixa-de-ar), é traçada uma curva de isolamento de 10 dB por oitava e uma de -10 dB por oitava para elementos simples e duplos, e de 12 dB por oitava e de -12 dB por oitava para elementos triplos, até intercepar a curva da lei experimental da frequência. A partir do ponto de interceção entre a curva de 10 dB e a curva da lei experimental, é traçado um novo troço de 6 dB (elementos simples) ou de 8 dB (elementos duplos) ou de 12 dB (elementos triplos) de declive, tal como mostra a o Figura 58;

7. A partir dos 100 Hz, ou aproximadamente acima das primeiras frequências de ressonância, traça-se o primeiro troço de 6 dB (elementos simples) ou de 8 dB (elementos duplos) ou de 12 dB (elementos triplos) por oitava.

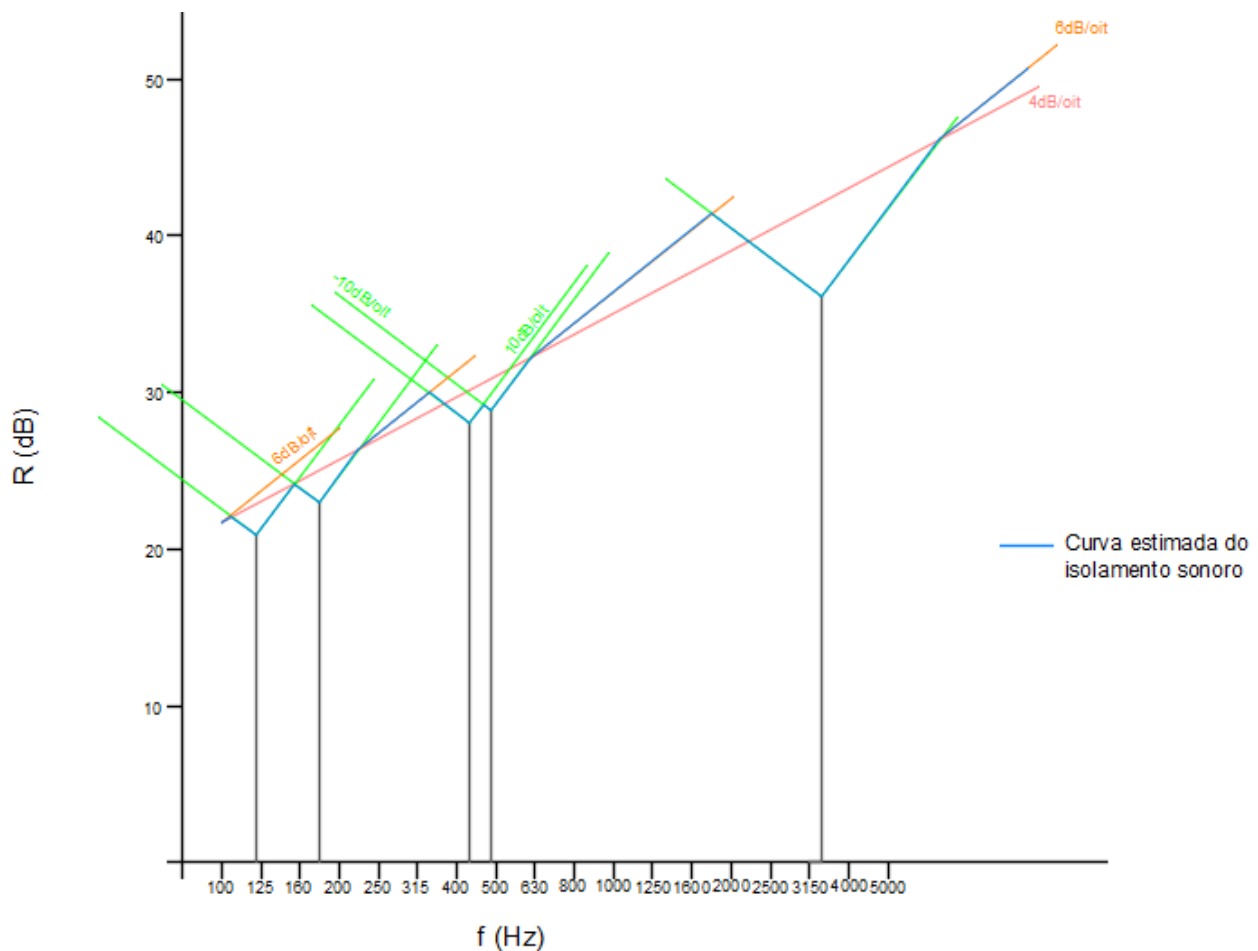


Figura 58 - Marcação do índice de redução sonora dado pela lei experimental da massa

Após determinada a curva estimada do isolamento sonoro, retira-se os valores de R (índice de isolamento sonoro) a que corresponde cada frequência, em bandas de 1/3 de oitava.

Traçado da curva de referência

O traçado da curva de referência é efetuado do seguinte modo:

1. Arbitra-se um valor inteiro para R (índice de isolamento sonoro) para a frequência de 100Hz ou de 125 Hz;
2. De 100 Hz a 400 Hz, ao valor de R acresce 3 dB;
3. De 400 Hz a 1250 Hz, ao valor de R acresce 1 dB;
4. De 1250 Hz a 3150 Hz não há acréscimo ao valor de R, mantendo-se assim o valor de R constante para as frequências acima de 1250 Hz.

Desvios desfavoráveis

Se:

- $R_{\text{estimado}} \geq R_{\text{de referência}}$ → Não há desvios desfavoráveis;
- $R_{\text{estimado}} < R_{\text{de referência}}$ → calcula-se o desvio desfavorável através da diferença entre os valores, sendo que o somatório dos desvios desfavoráveis para frequências de 1/3 de oitava, terá de ser menor que 32 dB mas o mais próximo deste valor e para frequências de 1 oitava, terá de ser menor que 10 dB mas o mais próximo deste valor.